55391.

Experimentelle Untersuchung des Siegerländer Spiegeleisenhochofens.

Ein Beitrag zur Reduktion des Mangans im Hochofen.

Von der

Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

ACAD.
TECHN.BAT.
BIBL.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Hermann Thaler

aus Dortmund.

Referent: **Prof. Oskar Simmersbach.**

Korreferent: **Dr. Hollmann.**

Tag der mündlichen Prüfung: 28. November 1913.

Kattowitz O.-S.
Druck von Gebrüder Böhm.
1914.

Experimentelle Untersuchung des Siegerländer Spiegeleisenhochofens.

Ein Beitrag zur Reduktion des Mangans im Hochofen.

Von der

Kgl. Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

ACAD
LUGD.BAT
BIBL.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Hermann Thaler

aus Dortmund.

Referent:
Prof. Oskar Simmersbach.

Korreferent:
Dr. Hollmann.

Tag der mündlichen Prüfung: 28. November 1913.

Kattowitz O.-S.
Druck von Gebrüder Böhm.
1914.

Erscheint auch in:

Sammlung Berg- und Hüttenmännischer Abhandlungen, Gebrüder Böhm, Kattowitz O.-S.

Stahl und Eisen 1914.

Meinen Eltern

gewidmet.

Einleitung.

Unter Spiegeleisen versteht man im allgemeinen Roheisen mit einem Mangangehalt von 5—25 % Mn. Der Phosphorgehalt soll nach Möglichkeit unter 0,1 % bleiben, der Siliciumgehalt 1 % nicht wesentlich übersteigen. Der Kohlenstoff hält zwischen 4—6 % C. Die Gehalte an P, Si und C steigen mit zunehmendem Mangangehalt des Spiegeleisens.

Der Name Spiegeleisen rührt daher, daß manganreiche Roheisensorten auf der Bruchfläche große Absonderungsflächen, sogenannte Spiegel, zeigen. Diese treten besonders schön auf bei Roheisen mit ca. 6 % Mangan und nehmen bei steigendem Mangangehalt ab. Steigt der Mangangehalt über 10—12 %, so wird der Bruch silberglänzend. Nach einigem Liegen oxydiert die Bruchfläche und bedeckt sich mit einer „irisierenden" Schicht.

Roheisensorten mit mehr als 25 % Mangan rechnet man zu den Ferromanganen, die man bis zu 85 % Mn und noch darüber darstellen kann.

Betreffs der Differenziierung von Spiegeleisen und Ferromangan möchte ich mich dem von Simmersbach*) gemachten Vorschlag anschließen, wonach die Eisensorten bis zu 27 % Mn als Spiegeleisen, diejenigen mit mehr denn 27 % Mn als Ferromangane bezeichnet werden. Diese Einteilung beruht auf der physikalischen Eigenschaft der Eisen-

*) Simmersbach, Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1905, S. 305 „Über die Darstellung von Ferromangan".

manganlegierungen, daß sie bei einem Mangangehalt von 25—26 % die magnetischen Eigenschaften verlieren, und diese bei 27 % Mn vollständig aufhören. Der Mangangehalt von 27 % kann also als genau festgelegte Grenze zwischen Spiegeleisen und Ferromangan gelten.

Da nun Spiegeleisensorten stets im Hochofen dargestellt werden, so hat bei solchen Betrieben die Reduktionsarbeit des Ofens sich besonders neben der der Eisenerze auf die Reduktion des Mangans zu erstrecken.

Bezüglich der Reduktion des Mangans im Hochofen sind m. E. die Verhältnisse noch nicht recht klar gelegt und nur wenig eingehend untersucht worden. Es gilt allgemein die von Ledebur ausgesprochene Ansicht, daß Mangan nur durch festen Kohlenstoff reduziert werden könne und nicht früher, oder wenigstens nicht in erheblichem Maße früher, als das Eisen. Deshalb sollen sich leicht reduzierbare Erze, wie geröstete, manganhaltige Spateisensteine ganz besonders für die Spiegeleisendarstellung eignen.

Simmersbach*) hat in seinen Schriften und Werken mehrfach die Ansicht vertreten, daß bei den Erzen, die Eisen und Mangan als Karbonate enthalten, wie z. B. die Siegerländer Spateisensteine, das Mangan gleichzeitig mit dem Eisen infolge inniger Vereinigung und in Anbetracht der Massenwirkung durch Kohlenoxyd reduziert werden könne, allerdings nur bei hoher Temperatur.

Bei hochmanganhaltigem Spiegeleisen soll sich ein Teil des Mangans vor den Formen verflüchtigen und mit den Gasen entführt werden.

Whiting**) fand bei der Darstellung von Ferromangan mit 30 % Mn, daß sich 1,7 % des Mangangehaltes der Erze verflüchtigt hatte.

---

*) Simmersbach, Stahl und Eisen 1903, S. 164; Die Eisenindustrie, Verlag Teubner, S. 13.

**) Whiting, Transactions of the American Institute of Mining Engineers Bd. 20, S. 290.

Nach Schilling*) verflüchtigte sich bei der Darstellung von Ferromangan mit 60—70 % Mn 17 % des eingebrachten Mangans.

Hoehl**) berichtet von einem russischen Hochofenwerk, wo bei dem Betrieb auf Ferromangan mit 80 % Mn ca. 16 % Verluste infolge Flugstaub und Verflüchtigung eintraten.

Professor Simmersbach teilte mir die Ergebnisse der von ihm ausgeführten Versuche beim Erblasen von 80 %igem Ferromangan mit, wonach er bei drei verschiedenen Öfen Verluste an Mangan durch Vergasung feststellte wie folgt:

a) ca. 24 %
b) „ 29 „
c) „ 32 „

Ledebur sagt weiter, daß bei Anwendung von sehr viel Koks und hoch erhitztem Wind 20—30 % des eingebrachten Mangans durch die Schlacke abgeführt würden. Durch Verlangsamung des Schmelzprozesses und Erhöhung des Brennstoffsatzes würde man wohl in der Lage sein, die Reduktion des Mangans weiterzutreiben, doch würde dann gleichzeitig Silicium in größerem Maße mit reduziert werden, wodurch graues, unbrauchbares Material entsteht.

Deshalb verlangt die Manganreduktion eine kalkreiche, basische Schlacke, und gleichzeitig muß ein gewisser Mangangehalt in der Schlacke sein, um jener Silicium-Reduktion die Wage zu halten. Je höher der Mangangehalt, desto größer wird der Manganverlust durch Verschlackung und Verflüchtigung, desto höher der erforderliche Brennstoffverbrauch.

Zweck vorliegender Arbeit ist, für die Darstellung von verschiedenen Spiegeleisensorten mit steigendem Mangangehalt bis zu 20 % Mn, zunächst mit größtmöglichster Genauigkeit die stofflichen, sowie wärmetechnischen Verhältnisse

---

*) Schilling, Stahl und Eisen 1882, S. 223.
**) Höhl, Stahl und Eisen 1910, S. 817.

festzulegen, um so, gestützt auf experimentell ermittelte Grundlagen aus der Praxis, einigermaßen genaue Angaben über Brennstoffverbrauch, Verteilung der Manganausgaben, Wind-, Gas- und Schlackenmengen usw. zu erhalten. Sodann sollen besonders die metallurgischen Vorgänge der Manganreduktion, sowie der Einfluß und die Natur der Schlacken bei der Spiegeleisenfabrikation einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Somit wird sich die Arbeit in zwei Teile gliedern und zwar in:

1. einen experimentellen Teil und
2. einen theoretischen Teil.

Die Versuche zu der experimentellen Untersuchung des Spiegeleisenhochofens wurden auf einem Siegerländer Hochofenwerk ausgeführt und beziehen sich auf die Darstellung von:

1. Spiegeleisen mit 6,02 % Mangan
2. „ „ 10,83 „ „
3. „ „ 12,91 „ „
4. „ „ 20,32 „ „

I. Teil.

Zur Ermittelung der Grundlagen wurde bei jedem Versuch für die eingebrachten Erz-, Kalk- und Koksmengen mit größtmöglichster Genauigkeit Durchschnittsanalysen gewählt, und zwar derart, daß täglich Stichproben genommen wurden, diese alsdann in besonderen Kästen aufbewahrt und getrennt analysiert wurden. Es war dies notwendig, weil die meisten Erze an Ort und Stelle gewonnen und täglich angefahren werden. Das Manganerz und der Hammerschlag sind nur mit einer Analyse in Rechnung gesetzt, weil die gegichteten Mengen während der ganzen Versuchsperiode von demselben Haufwerk genommen wurden.

Die Koksanalyse ist für die ersten drei Versuche mit denselben Werten eingesetzt. Eine Trennung der Analysen der einzelnen Kokssorten ließ sich aus praktischen Gründen nicht durchführen.

Versuch 1—3 wurden hintereinander ausgeführt und greifen ineinander, während Versuch 4 später und in einem anderen Hochofen vorgenommen wurde.

Ofen I (Versuch 1—3) hat eine Gesamthöhe von 20,7 Meter, Schachthöhe von 12,92 Meter, Rasthöhe von 5,28 Meter, Gestellhöhe von 2,5 Meter, der Gichtdurchmesser beträgt 4,0 Meter, der Kohlensackdurchmesser 5,5 Meter, der Gestelldurchmesser oben 2,7 Meter, unten 2,4 Meter und ist mit einer Langenschen Glocke geschlossen. Die

Formenhöhe beträgt 1,3 Meter, und es wird bei fünf Blasformen mit einem Durchmesser von 150 mm mit insgesamt 0,088 m^2 Blasquerschnitt geblasen.

Ofen II (Versuch 4) mit derselben Gesamthöhe von 20,7 Meter, Schachthöhe 13,2 Meter, Rasthöhe 5,0 Meter, Gestellhöhe 2,5 Meter, hat einen Gichtdurchmesser von 4,0 Meter, Kohlensackdurchmesser von 5,7 Meter, Gestelldurchmesser oben 3,0 Meter, unten 2,7 Meter. Die Formenhöhe ist gleichfalls 1,3 Meter, und es wird bei 6 Windformen mit einem Durchmesser von 150 mm mit einem Blasquerschnitt von insgesamt 0,106 m^2 geblasen. Die nähere Konstruktion der Öfen ist aus beiliegenden Zeichnungen zu erkennen.

Die gegichteten Mengen wurden genau notiert. Die Taragewichte der Möllerwagen wurden vor den Versuchen genau festgestellt, sowie die Wagen auf ihre Richtigkeit geprüft. Da es im Betrieb nicht üblich war, den Koks zu wiegen, habe ich während jeder Schicht jedesmal eine Koksgicht wiegen lassen, und zwar derart, daß bei jeder Koksgicht ein anderer Wagen gewogen wurde. Es wurde dann für jeden Versuchstag das betreffende Gewicht in Rechnung gesetzt.

Von dem gefallenen Roheisen wurde eine genaue Durchschnittsprobe genommen, indem bei jedem Abstich die obere, mittlere und untere Leiste in der Gießhalle zur Probenahme verwandt wurde. Jeder einzelne Abstich wurde auf Mangan untersucht, während die übrigen Bestimmungen, die wohl weniger von Bedeutung sind, in einer gemeinsamen Probe für jeden Tag festgelegt wurden. Die zu jedem Abstich gehörende Laufschlacke wurde zur Probe aufbewahrt und hieraus eine Durchschnittsprobe für jeden Tag hergestellt. Die Menge der Schlacke wurde rechnerisch ermittelt. Flugstaubproben wurden täglich einmal genommen. Die Menge des Flugstaubes wurde täglich durch Staubbestimmungen experimentell ermittelt. Gasproben wurden täglich ein- bis zweimal an der Gicht entnommen. Die Temperatur der Gicht wurde stündlich, die des Windes alle anderthalb Stunden gemessen.

Beim Versuch 2 und 4 wurde der Wärmeinhalt der Schlacke und des Eisens mit Hilfe eines im Sinne Gillhausens*) selbstkonstruierten Kalorimeters ermittelt. Als Kalorimetergefäß wurde ein kupferner Zylinder von 145 mm Durchmesser und 300 mm Höhe benutzt, welches mit einem Deckel verschließbar war. Ein kupferner Rührer konnte darin bewegt, sowie ein Thermometer eingeführt werden. Das ganze Gefäß wurde mit einem Holzkasten umgeben und zur Vermeidung jeglicher praktisch meßbaren Strahlungsverluste mit Filz und darum Kieselgur verpackt. Das Gefäß wurde mit 4 Liter Wasser gefüllt.

Bei den Wärmeinhaltsbestimmungen des Eisens habe ich das flüssige Metall direkt in das Wasser geworfen. Die von Gillhausen gehegten Bedenken einer Wasserzersetzung und dadurch entstehender, nicht zu berücksichtigender Fehler, halte ich für belanglos. Eine Wasserzersetzung tritt infolge der plötzlichen und intensiven Abkühlung nur in ganz geringem Maße ein. Anders ist es dagegen bei den Wärmeinhaltsbestimmungen der Schlacke. Die Schlacke granuliert in dem Moment, wo sie in das Wasser kommt, steigt an die Oberfläche und strahlt die Wärme nach oben aus. Sodann zerfällt die Schlacke jedesmal in kleine Sandteilchen, so daß man die einzelnen Schlackenteilchen nur mühsam und nie vollkommen sammeln kann. Ich habe deshalb bei den Wärmeinhaltsbestimmungen ein besonderes kleines Kupfertöpfchen benutzt, welches in seinem oberen Deckel einen kleinen Schlitz hatte, durch welchen ich die flüssige Schlacke eingoß. Das Kupfertöpfchen war an einem Kupferdraht aufgehängt und wurde, sobald die Schlacke eingegossen war, schnell in das Kalorimetergefäß eingeführt, indem das Töpfchen selbst als Rührer diente. Bei einiger Praxis erzielte ich ziemlich übereinstimmende und zufriedenstellende Resultate.

Der Wärmeinhalt berechnet sich dann einfach nach der Formel:

*) Gillhausen, Untersuchungen über die Wärme- und Stoffbilanz beim Hochofen, Dissertation.

$$W = \frac{a \cdot (t_1 - t)}{g},$$

wo a = Wasserwert des Kalorimeters,
t = Anfangstemperatur des Wassers,
t_1 = Endtemperatur des Wassers,
g = Gewicht des Eisens resp. der Schlacke
bedeuten. Der Wasserwert meines Kalorimeters betrug 4200 W.E. unter Berücksichtigung einer spezifischen Wärme des Kupfers von 0,0936. Die auf diese Weise ermittelten Zahlen ergaben im Durchschnitt:

Versuch II.

Eisen = 277 W.E. pro 1 kg (Mittel aus 6 Versuchen)
Schlacke = 440 „ „ 1 „ („ „ 7 „)

Versuch IV.

Eisen = 288 W.E. pro 1 kg (Mittel aus 12 Versuchen)
Schlacke = 436 „ „ 1 „ („ „ 18 „)

Ich habe die Werte von Versuch II für die ersten drei Versuche angesetzt, weil sie wohl nur wenig oder garnicht differieren werden. Bei Versuch IV sind natürlich die eigenen Werte in Rechnung gesetzt worden.

Die erzeugten Gasmengen und die Menge des verbrauchten Windes wurden aus der Gasanalyse unter Zugrundelegung der Avogadroschen Hypothese, nach welcher jedes Kubikmeter der hier in Frage kommenden kohlenstoffhaltigen Gase CO_2, CO und CH_4 die gleiche Kohlenstoffmenge enthalten muß, nämlich 0,535955 kg, ermittelt.

Die einzelnen Analysen von Erz, Kalk, Koks, Schlacke, Eisen, Staub und Gas, sowie die Gicht- und Windtemperaturen, Staub- und Wärmeinhaltsbestimmungen sind im Anhange in besonderen Tabellen oder graphischen Darstellungen zusammengetragen.

Die nachfolgenden Rechnungen der 4 Versuche sind jedesmal auf 1000 kg produziertes Metall bezogen. Alle ermittelten Werte und erhaltenen Resultate gelten also für die Darstellung von einer Tonne Spiegeleisen.

Für den ersten Versuch will ich den Gang der Rechnung genau wiedergeben, während ich mich bei den übrigen darauf beschränken will, nur die Ergebnisse mitzuteilen.

Versuch I.

Darstellung von Spiegeleisen mit 6,02 % Mangan.

Versuchszeit vom 11. bis 13. März.

Gegichtet wurden während des Versuches:

Siegerländer Rost I	= 147 194 kg	= 32,72 %
„ „ II	= 85 056 „	= 18,91 „
„ Spat I	= 41 472 „	= 9,22 „
„ „ II	= 91 200 „	= 20,27 „
Eisenglanz	= 84 960 „	= 18,88 „
Kalk, Westerwald	= 43 847 „	
„ , Lenne	= 43 847 „	
Koks	= 200 647 „	
	738 216 kg	

Da für die nachfolgenden Berechnungen nur die trockenen Substanzen in Frage kommen, sollen im folgenden die trockenen gemöllerten Mengen angegeben werden:

Siegerländer Rost I	= 126 230 kg
„ „ II	= 79 953 „
„ Spat I	= 40 332 „
„ „ II	= 90 416 „
Eisenglanz	= 78 164 ,
Kalk, Westerwald	= 43 633 „
„ , Lenne	= 43 628 „
Koks	= 181 138 „
	683 494 kg

so daß insgesamt 54 722 kg Nässe in den Ofen gelangen = 275,5 kg pro Tonne erblasenes Eisen.

Hieraus werden dargestellt:

198 600,0 kg Roheisen,
158 999,1 „ Schlacke,
4 074,2 „ Staub.

Die mittleren Analysen, sowie die stofflichen Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall sind in Tabelle I und II zusammengestellt.

Tabelle I.

Versuch I: Mittlere Analysen im Trockenen.

	Rost I %	Rost II %	Spat I %	Spat II %	Glanz %	Kalk Westerwald %	Kalk Lenne %	Koks %	Roheisen %	Schlacke %	Staub %
Fe_2O_3	67,35	66,92	—	—	68,96	—	—	2,61	—	—	50,87
FeO	—	—	43,58	42,29	—	0,32	1,60	—	—	1,46	—
Mn_3O_4	13,02	12,53	—	—	3,57	—	—	—	—	—	10,36
MnO	—	—	8,93	8,15	—	—	—	—	—	13,92	—
CaO	2,74	2,90	1,96	1,72	5,08	51,08	51,96	0,40	—	32,83	3,29
MgO	3,19	3,24	2,23	2,36	1,65	1,75	1,72	0,16	—	7,90	4,67
SiO_2	10,77	12,15	8,40	12,75	10,15	0,70	1,13	3,60	$\frac{1,96}{=0,92}$ Si	36,41	7,26
Al_2O_3	2,58	2,23	3,86	3,61	4,28	1,77	0,69	2,95	—	8,04	5,27
CO_2	—	—	35,80	34,90	41,76	43,29	—	—	—	—	5,97
P_2O_5	—	—	—	—	0,10	—	—	0,09	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	—	87,90	4,10	—	8,76
N + O	—	—	—	—	—	—	—	0,80	—	—	—
Asche	—	—	—	—	—	—	—	10,13	—	—	—
Fe	47,10	46,80	3404	33,04	48,23	0,25	1,25	1,83	88,58	1,14	35,58
Mn	9,44	9,08	6,93	6,32	2,59	—	—	0,01	6,02	10,79	7,51
Cu	0,048	0,25	0,048	0,32	0,06	—	—	—	0,29	—	—
P	—	—	—	—	0,05	—	—	0,05	0,04	—	—
S	0,35	0,85	0,25	0,78	0,35	—	—	1,20	0,05	1,79	1,12
Nässe	9,00	6,00	2,75	0,75	8,00	0,49	0,50	9,72	—	—	—

Tabelle II. **Versuch I. Stoffliche Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall.**

	Rost I	Rost II	Spat I	Spat II	Glanz	Kalk Westerwald	Kalk Lenne	Koks	Sa.	Roheisen	Schlacke	Staub
Menge:	635,5	402,5	203,0	455,2	393,5	219,7	219,6	912,0	—	1000	800,6	20,4
Fe_2O_3	428,0	269,3	—	—	271,3	—	—	23,8	992,4	—	—	10,3
FeO	—	—	88,4	192,5	—	0,7	0,3	—	281,9	—	11,6	—
Mn_3O_4	82,7	50,4	—	—	14,0	—	—	—	147,1	—	—	2,1
MnO	—	—	18,1	37,0	—	—	—	0,09	55,19	—	114,9	—
CaO	17,4	11,6	3,9	7,8	19,9	112,2	114,1	3,6	290,5	—	262,8	0,7
MgO	20,2	13,0	4,5	10,7	6,4	1,5	3,7	1,4	61,4	—	63,2	0,9
SiO_2	68,4	48,9	17,0	58,0	39,9	1,5	2,4	32,8	268,9	19,6	291,4	1,4
Al_2O_3	16,3	8,9	7,8	16,4	16,8	3,8	1,5	6,2	72,5	—	64,3	1,0
CO_2	—	—	72,6	158,8	—	89,5	95,9	—	416,8	—	—	1,2
P_2O_5	—	—	—	—	0,3	—	—	0,8	1,1	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	—	801,6	801,6	—	—	1,7
N+O	—	—	—	—	—	—	—	7,2	7,2	—	—	—
Asche	—	—	—	—	—	—	—	92,3	92,3	—	—	—
Fe	299,3	188,3	69,1	150,3	189,7	0,54	2,7	16,6	916,5	885,8	9,1	7,2
Mn	59,0	36,5	14,0	28,7	10,1	—	—	0,9	149,2	60,2	86,3	1,5
Cu	0,3	1,0	0,09	1,4	0,2	—	—	—	2,99	0,29	—	—
P	—	—	—	—	0,1	—	—	0,4	0,50	0,40	—	0,1
S	2,2	3,4	0,5	3,5	1,3	—	—	10,9	14,8	0,40	14,2	0,23
Nässe	—	—	—	—	—	—	—	—	275,5	—	—	—

Berechnung der Schlackenmenge.

Die Menge der Schlacke läßt sich am einfachsten als Summe der schlackenbildenden Stoffe der gemöllerten Materialien berechnen. Abzuziehen sind natürlich die Schlackenbildner, die sich im Staub wiederfinden. Die dem Siliciumgehalt des Eisens entsprechende reduzierte Kieselsäure ist von dem gesamten Kieselsäuregehalt in Abzug zu bringen. Den Schwefelgehalt der Schlacke will ich als an Calcium gebunden annehmen. Die auf diese Weise gefundene Schlackenmenge ist dann noch um das analytisch gefundene prozentuale Verhältnis der gelösten Fe O- und Mn O-Mengen zu vermehren, wodurch sich die wirkliche Schlackenmenge ergibt.

Die reduzierte Kieselsäuremenge beträgt 19,6 kg, im Staube befinden sich 1,4 kg, so daß 268,9 — 21,0 = 247,9 kg in die Schlacke gehen. Ferner gehen in die Schlacke 14,2 kg S, welche 34,08 kg Ca S bilden, unter Bindung von 26,12 kg Ca O. Der prozentuale Fe O + Mn O-Gehalt der Schlacke beträgt 1,45 Fe O + 13,91 Mn O = 15,36 Fe O + O Mn. Demnach beträgt die Schlackenmenge:

$$\frac{\text{Summe Schlackenbildner} \times 100}{100 - 15{,}36}$$

Für den ersten Versuch:

Ca O	= 263,7 kg	$= \frac{84{,}64 \times 263{,}7}{677{,}7}$	=	32,93 %
Ca S	= 34,1 „	$= \frac{84{,}64 \times 34{,}1}{677{,}7}$	=	4,25 %
$Si O_2$	= 247,9 „	$= \frac{84{,}64 \times 247{,}9}{677{,}7}$	=	30,96 %
Mg O	= 60,5 „	$= \frac{84{,}64 \times 60{,}5}{677{,}7}$	=	7,55 %
$Al_2 O_3$	= 71,5 „	$= \frac{84{,}64 \times 71{,}5}{677{,}7}$	=	8,93 %
Fe O + Mn O			=	15,36 %
	677,7 kg			100,00 %

$$\text{Schlackenmenge} = \frac{677{,}7 \times 100}{84{,}64} = 800{,}6 \text{ kg.}$$

Berechnung der Gas-, Wind-, Staub- und Feuchtigkeitsmengen.

Die mittlere Gasanalyse lautet:
11,8 % CO_2, 25,6 % CO, 0,70 % CH_4, 1,5 % H, 60,4 % N.
1 m^3 Gas enthält dann:

0,118 m^3 CO_2
0,256 „ CO
0,007 „ CH_4
0,381 × 0,535 955 = 0,2041988 kg C.

Eingebracht werden an Kohlenstoff:

aus Koks = 181 138 × 0,8790 = 159 220,3 kg C.
Spat I = 40 302 × 0,3580 = 14 428,1 kg CO_2
Spat II = 90 416 × 0,3490 = 31 555,1 „ „
Kalk, W. = 43 632 × 0,4176 = 18 221,1 „ „
Kalk, L. = 43 628 × 0,4329 = 18 886,5 „ „
83 090,8 kg CO_2 = 22 658,8 „ „
181 879,1 kg C.

In das Eisen gehen 198 600 × 0,041 = 8 142,6 „ „
In den Staub gehen, wenn pro t Eisen 20 kg Staub gerechnet werden:
198 600 × 20 = 3 972,0 × 0,0876 = 347,9 „ „
198 600 × 20 = 3 972,0 × 0,0597 = 237,1 kg CO_2 = 64,5 „ „
8 555,0 kg C.
173 324,1 kg C.

Also gehen in das Gas:

Diese liefern dann $\frac{173\,324{,}1}{0{,}2041988}$ = 848 800,7 m^3 Gichtgas
= 4 274,8 m^3 Gichtgas pro 1 t Roheisen,
= 4,68 „ „ „ 1 kg Koks,
= 5,33 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Diese 848 800,7 m^3 Gichtgas enthalten:
848 800,7 × 0,604 = 512 675,6 m^3 N = 643 100,2 kg N.

Vom Koks werden mitgebracht:
181 138 × 0,008 = 1 449,1 kg N.
Also entstammen dem Gebläsewind: 641 651,1 kg N.
entsprechend 497 407,9 m^3 N

„ 497 407,9 × $\frac{100}{79}$ = 629 600,2 m^3 Wind
= 3 170,1 „ „ pro t Eisen,
= 3,47 „ „ „ 1 kg Koks,
= 3,95 „ „ „ 1 kg Koks-C.

Die aus der Leistung der Gebläsemaschine berechnete Windmenge beträgt 711 114 m³, so daß 11,4 % Verluste eingetreten sind.

Die Staubmenge betrug 4,8 g pro 1 m³ Gas, also:

$$848\,800 \times \frac{4{,}8}{1000} = 4074{,}2 \text{ kg Staub}$$

$$= 20{,}4 \text{ kg Staub pro 1 t Roheisen.}$$

Bei einer Temperatur von 15° C. im Gebläsehaus und einem Barometerstand von 750 mm Q.-S. betrug die Feuchtigkeitsmenge der Luft 13,5 g pro 1 m³.

Bei 0° C. und 760 mm Q.-S. würde dann 1 m³ obiger Luft entsprechen:

$$V_0 = \frac{750 \times 273}{760 \times 288} = 0{,}9354 \text{ m}^3.$$

Die oben berechnete Windmenge von 3 170,1 m³ enthält dann:

$$\frac{3\,170{,}1 \times 13{,}5}{0{,}9354 \times 1000} = 45{,}7 \text{ kg Wasserdampf.}$$

Somit wären die zur Aufstellung einer Stoff- sowie Wärmebilanz erforderlichen Grundlagen ermittelt. Bei der Stoffbilanz will ich mich nur auf die in Frage kommenden Metalle Eisen und Mangan beschränken und ferner die Bilanzen für den Kohlenstoff, sowie den Sauerstoff aufstellen.

Eisen:

Einbringen

aus dem Möller 916,5 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	885,8 kg =	96,65 %	vom Einbringen
Schlacke:	9,1 „ =	0,99 %	„ „
Staub:	7,2 „ =	0,78 %	„ „
	902,1 kg =	98,42 %	vom Einbringen
Einbringen	916,5 kg =	100,00 %	
Ausbringen	902,1 „ =	98,42 %	
	— 14,4 kg =	— 1,58 %	

Mangan:

Einbringen

aus dem Möller 149,2 kg = 100,00 %

Ausbringen

Roheisen:	60,2 kg =	40,34 %	vom Einbringen
Schlacke:	86,3 „ =	57,84 %	„ „
Staub:	1,5 „ =	1,00 %	„ „
Verflüchtigung:	1,2 „ =	0,81 %	„ „
	149,2 kg =	100,00 %	vom Einbringen

Einbringen 149,2 kg = 100,00 %
Ausbringen 149,2 „ = 100,00 %

— —

Kohlenstoff:

Einbringen

Koks	= 801,6 kg
CO_2 aus Erz + Kalk	= 113,6 „
	915,2 kg = 100,00 %

Ausbringen

Roheisen:	41,0 kg =	4,49 %	vom Einbringen
Gas:	872,7 „ =	95,35 %	„ „
Staub:	2,0 „ =	0,21 %	„ „
	915,7 kg =	100,05 %	vom Einbringen

Einbringen 915,2 kg = 100,00 %
Ausbringen 915,7 „ = 100,05 %

— —

Sauerstoff:

Einbringen

aus Fe_2O_3	= 982,1	× 0,3005	= 295,1	kg O
FeO	= 270,3	× 0,2227	= 60,2	„ „
CaO	= 26,1	× 0,2850	= 7,4	„ „
SiO_2	= 19,6	× 0,5307	= 10,4	„ „
CuO	= 3,6	× 0,2010	= 0,7	„ „
CO_2	= 416,8	× 0,7272	= 303,1	„ „
P_2O_5	= 1,1	× 0,5633	= 0,6	„ „
H_2O des Windes	= 45,7	× 0,8881	= 40,5	„ „
Wind = 3 170,1 m^3 = 665,7 m^3 O			= 952,2	„ „

aus Manganoxyden:

Mn_3O_4	= 145,0	× 0,1945	= 37,9 kg
MnO	= 55,2	× 0,2220	= 12,3 „
			50,2 kg

abzügl. Mn O der Schlacke:

$114{,}9 \times 0{,}2220 = 25{,}5$ kg

bleibt $24{,}7$ kg $= 24{,}7$ kg O

Demnach Sauerstoffeinbringen $= 1694{,}9$ kg O

Ausbringen

aus CO_2 des Gases :

$4274{,}8$ m³ $= 504{,}4$ m³ $CO_2 = 997{,}7$ kg $CO_2 = 725{,}5$ kg O

aus CO des Gases:

$4274{,}8$ m³ $= 1094{,}3$ m³ CO $= 1373{,}8$ kg CO $= 784{,}9$ kg O

Demnach Sauerstoffausbringen $= 1510{,}4$ kg O

Einbringen $= 1\,694{,}9$ kg O $= 100{,}00$ %

Ausbringen $= 1\,510{,}4$ kg O $= 89{,}11$ %

$- 184{,}5$ kg O $= -10{,}89$ %

Für die im Nachfolgenden aufgestellte Wärmebilanz habe ich die Zahlen für Verbrennungswärme, Reduktions- resp. Bildungswärme, spezifische Wärme, Wärme zur Austreibung von Kohlensäure etc. mit den Werten eingesetzt, wie sie allgemein üblich bei hüttentechnischen und metallurgischen Rechnungen angewandt werden. Sie sind in den Lehrbüchern von Brisker und Dichmann tabellarisch zusammengestellt. Ich habe sie auch teilweise der Dissertationsschrift Gillhausens entnommen, dessen Zahlen wohl einwandfrei gelten können.

Die Wärmeeinnahme beim Hochofenbetrieb setzt sich zusammen aus der durch die Verbrennung des Kohlenstoffs entstandenen Wärme, der von dem heißen Wind mitgebrachten Wärme und schließlich der eigenen Wärme der gemöllerten Materialien. Aus der Gasanalyse multipliziert mit der Gasmenge pro Tonne Roheisen kenne ich die pro Tonne Roheisen gebildeten CO-, CO_2- und CH_4-Mengen. Ziehe ich von der CO_2-Menge die Kohlensäure des Möllers ab und multipliziere dann die fraglichen Mengen mit den bei ihrer Bildung auftretenden Wärmetönungen, so erhalte ich die durch Kohlenstoffverbrennung gebildete Wärmemenge. Ob nun Kohlenoxyd im Laufe der Ofenreise zu Kohlensäure verbrennt, oder umgekehrt, die Kohlensäure wieder zu Kohlenoxyd und

Kohlenstoff reduziert wird, bleibt sich völlig gleich, weil bei der Oxydation dieselben Wärmemengen auftreten, wie sie zur Reduktion erforderlich sind.

Die vom Winde mitgebrachte Wärme berechnet sich aus der Windmenge multipliziert mit der mittleren spezifischen Wärme der einzelnen Bestandteile für die betreffende Windtemperatur. Für die Windfeuchtigkeit kommt dann noch die Verdampfungswärme des Wassers mit 636 W.E. in Betracht.

Die Eigenwärme der gemöllerten Materialien ergibt sich aus den Möllergewichten und der spezifischen Wärme der Materialien.

Wärmeeinnahme.

1) Vom Möller eingebrachte Wärme:

Siegerländer Rost	I =	635,5 ×	0,1560 =	99,1	W.E.
„ „	II =	402,5 ×	0,1560 =	62,7	„
„ Spat	I =	203,0 ×	0,1560 =	31,5	„
„ „	II =	455,2 ×	0,1560 =	71,0	„
Eisenglanz	=	393,5 ×	0,1560 =	61,3	„
Kalk, Westerwald	=	219,7 ×	0,2099 =	46,1	„
„ , Lenne	=	216,6 ×	0,2099 =	46,0	„
Koks	=	912,0 ×	0,2030 =	185,1	„
				602,8	W.E.

Bei einer mittleren Wärme von 10° C. ist also die Eigenwärme: 602,8 × 10 = 6028,0 W.E.

2) Die vom Winde mitgebrachte Wärme:

Die mittlere Windtemperatur betrug 731° C., die Windmenge war 3170,1 m^3, folglich:

2504,4 m^3 N =	3147,2 kg N ×	0,2544 =	800,6 × 731 =	585 238,6 W.E.
665,7 „ O =	952,2 „ O ×	0,2270 =	216,1 × 731 =	157 969,1 „
3170,1 m^3 Luft			=	743 207,7 W.E.

Dazu der Wärmeinhalt der Luftfeuchtigkeit mit:

45,7 × 636	=	29 065,2 W.E.
45,7 × 631 × 0,5562	=	16 038,9 „
Gesamte Wärmemenge	=	788 311,8 W.E.

3) Durch Kohlenstoffverbrennung entstandene Wärme:

Die Summe des zur Verbrennung gelangenden Kohlenstoffs ist bei einer Gasmenge von 4274,8 m^3 pro t Roheisen:

4274,8 × 0,118 = 504,4 m^3, diese enthalten = 270,3 kg C aus CO_2
4274,8 × 0,256 = 1094,3 „ „ „ = 586,4 „ „ „ CO
4274,8 × 0,007 = 29,9 „ „ „ = 16,0 „ „ „ CH_4

Von obiger C-Menge aus der Kohlensäure ist die C-Menge der Möllerkohlensäure abzuziehen, diese beträgt: 416,8 × 0,2727 = 113,6 kg, so daß 270,3 — 113,6 = 156,7 kg C tatsächlich zu Kohlensäure verbrannt sind.

Die auftretende Wärmetönung ist dann:

156,7	× 8 080	= 1 266 115,0	W.E.
586,4	× 2 473	= 1 450 167,2	„
16,0	× 1 812	= 28 992,0	„
759,1 kg C		= 2 745 274,2	W.E.

Die gesamte Wärmeeinnahme setzt sich also zusammen aus:

1. Eigenwärme des Möllers	=	6 028,0 W.E.
2. Windwärme	=	788 311,8 „
3. Wärme durch C-Verbrennung	=	2 745 274,2 „
		3 539 614,9 W.E.

Wärmeausgabe.

Die Wärmeausgabe setzt sich zusammen aus den verschiedenen Reduktionswärmen, Wärme zur Austreibung von Kohlensäure und Verdampfung des Wassers, sodann entführen die Endprodukte: Roheisen, Schlacke, Staub und Gas einen Teil der eingebrachten Wärme. Die Wärmemenge, die durch das Kühlwasser abgeführt wird, sowie durch Strahlung verloren gegangen ist, wurde nicht bestimmt. M. E. lassen sich diese beiden Posten auch nur mit größter Unsicherheit feststellen und zahlenmäßig kaum wiedergeben. Sie mögen

deshalb als Differenz zwischen Ein- und Ausbringen gelten.

1) Wärmeverbrauch durch Fe_2O_3:

Zur Reduktion gelangen 992,4 kg aus dem Möller abzüglich 10,3 kg im Staub = 982,1 kg. Diese bedürfen

$$892{,}1 \times 1260 = 1237\,436{,}0 \text{ W.E.}$$

2) Wärmeverbrauch durch FeO:

Zur Reduktion gelangen 281,9 kg aus dem Möller abzüglich 11,6 kg in der Schlacke = 270,3 kg. Diese bedürfen:

$$270{,}3 \times 1053 = 284\,625{,}6 \text{ W.E.}$$

3) Wärmeverbrauch durch Manganoxyde:

Zur Reduktion gelangen: Mn_3O_4 = 147,1 kg aus dem Möller abzüglich 2,1 kg im Staub = 145,9 kg. Diese entsprechen 104,4 kg Mangan. Zur Darstellung dieser Mangenmengen sind erforderlich:

$$104{,}4 \times 1970 = 205\,668{,}0 \text{ W.E.}$$

MnO = 55,2 kg werden vom Möller eingebracht. Die Schlacke entführt 114,9 kg, so daß also 114,9 — 55,2 = 59,7 kg MnO durch Verschlackung des Mangans aus Mn_3O_4 entstanden sein müssen. 59,7 kg MnO entsprechen 46,2 kg Mangan. Würden diese aus MnO reduziert, so entspräche das:

$$46{,}2 \times 1730 = 79\,926{,}0 \text{ W.E.}$$

Diese Wärmemenge ist von der oben berechneten in Abzug zu bringen, so daß der Wärmebedarf zur Reduktion der Manganoxyde beträgt: 125 742,0 W.E.

4) Wärmeverbrauch durch SiO_2:

Zur Reduktion gelangen 19,6 kg, diese bedürfen

$$19{,}6 \times 3680 = 72\,186{,}8 \text{ W.E.}$$

5) Wärmeverbrauch durch Cu O:

Zur Reduktion gelangen 3,6 kg, diese bedürfen
$3{,}6 \times 256 = 921{,}6$ W.E.

6) Wärmeverbrauch durch $P_2 O_5$:

Zur Reduktion gelangen 1,12 kg, diese bedürfen
$1{,}12 \times 2732 = 3\,059{,}8$ W.E.

7) Wärmeverbrauch durch Schwefel:

14,8 kg S bilden 34,08 kg Ca S, diese bedürfen
$34{,}08 \times 1150 = 39\,260{,}1$ W.E.

8) Wärmeabfuhr durch die Gichtgase:

$CO_2 = 4274{,}8 \times 0{,}118 = 504{,}4\ m^3 = 997{,}7\ kg \times 0{,}2169 = 216{,}4$ W.E.
$CO = 4274{,}8 \times 0{,}256 = 1094{,}3\ „ = 1373{,}8\ „ \times 0{,}2426 = 333{,}2\ „$
$CH_4 = 4274{,}8 \times 0{,}007 = 29{,}9\ „ = 21{,}4\ „ \times 0{,}3280 = 7{,}0\ „$
$H = 4274{,}8 \times 0{,}015 = 64{,}1\ „ = 5{,}7\ „ \times 3{,}4090 = 19{,}4\ „$
$N = 4274{,}8 \times 0{,}604 = 2581{,}9\ „ = 3244{,}6\ „ \times 0{,}2438 = 791{,}0\ „$

1 367,0 W.E

Bei einer Gichttemperatur von 205° C. beträgt die gesamte Wärmemenge $1367{,}0 \times 205 = 280\,235{,}0$ W.E.

9) Wärmeverbrauch durch $H_2 O$-Zersetzung:

Zur Reduktion gelangen 45,7 kg, diese bedürfen
$45{,}7 \times 3194 = 145\,965{,}8$ W.E.

10) Wärmeabfuhr durch Roheisen:

Der Wärmeinhalt sei 277 W.E. = 277 000,0 W.E.

11) Wärmeabfuhr durch Schlacke:

Der Wärmeinhalt sei 440 W.E., demnach
$800{,}6 \times 440 = 352\,264{,}0$ W.E.

12) Wärmeabfuhr durch Staub:

Bei einer spezifischen Wärme des Staubes von 0,17 beträgt die Wärmeabfuhr $20{,}4 \times 0{,}17 \times 205 = 709{,}3$ W.E.

13) Wärmeverbrauch für H_2O-Verdampfung:

Verdampft werden 275,5 kg, demnach:

275,5 × 636	=	175 218,0 W.E.
275,5 × 105 × 0,4989	=	14 431,9 „
		189 649,9 W.E.

14) Wärmeverbrauch für CO_2-Austreibung:

Vom Möller werden eingebracht 416,8 kg CO_2.

Hiervon sind gebunden an:

Eisen	174,3 kg,	diese bedürfen	×	342 =	59 610,6	W.E.
Mangan . . .	34,3 „	„	×	342 =	11 730,6	„
Kalk	186,1 „	„	×	1016 =	189 087,6	„
Magnesia . . .	22,2 „	„	×	729 =	16 183,8	„
					276 612,6	W.E.

Wärmebilanz.

Einnahmen.

Möller . . . . =	6 028,0	W.E. =	0,17 %
Wind . . . . =	788 311,8	„ =	22,27 %
C-Verbrennung =	2 745 274,2	„ =	77,56 %
	3 539 614,0	W.E. =	100,00 %

Ausgaben.

Reduktion von Fe_2O_3 . .	= 1 237 436,0	= 34,95 %	der Einnahme	
„ „ Fe O . . .	= 284 625,9	= 8,04 %	„	„
„ der Mn-Oxyde.	= 125 742,0	= 3,55 %	„	„
„ von SiO_2 . .	= 72 186,8	= 2,04 %	„	„
„ „ Cu O . . .	= 921,6	= 0,03 %	„	„
„ „ P_2O_5 . .	= 3 059,8	= 0,09 %	„	„
„ „ H_2O . . .	= 145 965,8	= 4,12 %	„	„
Ausgabe durch S.	= 39 260,1	= 1,11 %	„	„
„ „ Gas . . .	= 280 235,0	= 7,92 %	„	„
„ „ Roheisen .	= 277 000,0	= 7,82 %	„	„
„ „ Schlacke .	= 325 264,0	= 9,19 %	„	„
„ „ Staub . .	= 907,3	= 0,02 %	„	„
„ „ H_2O-Verd.	= 189 649,0	= 5,36 %	„	„
„ „ CO_2-Austr.	= 276 612,6	= 7,82 %	„	„
	3 258 667,9	= 92,06 %	der Einnahme	

Einnahmen	3 539 614,0	W.E. =	100,00 %
Ausgaben	3 258 667,9	„ =	92,06 %
	— 280 946,1	W.E. =	7,94 %

Versuch II.

Darstellung von Spiegeleisen mit 10,83 % Mangan.

Versuchszeit vom 13. bis 16. März.

Es wurden während dieser Zeit gegichtet:

Siegerländer Rost	I =	199 126 kg	=	39,37 %
„ „	II =	108 412 „	=	21,45 „
„ Spat	I =	126 260 „	=	24,98 „
„ „	II =	56 790 „	=	11,24 „
Manganerz	=	10 140 „	=	2,01 „
Kalk	=	103 633 „		
Koks	=	266 500 „		
Hammerschlag	=	4 820 „	=	0,95 „
		875 681 kg		

Diese entsprechen in trockenem Zustande 821 243 kg, so daß insgesamt 54 438 kg Nässe in den Ofen gelangen = 227,2 kg pro Tonne Eisen.

Hieraus wurden dargestellt:

239 500,0 kg Eisen,
178 786,7 „ Schlacke,
5 728,2 „ Staub.

Die mittleren Analysen, sowie die stofflichen Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall sind in Tabelle III und IV zusammengestellt.

Berechnung der Schlackenmenge:

Das Eisen enthält 1,4 % Si = 24,1 kg SiO_2. In die Schlacke gehen 20,7 kg S, welche 38,0 kg Ca O und 49,6 kg Ca S entsprechen. Folglich beträgt die Schlackenmenge:

Ca O	=	213,5 kg
Ca S	=	49,6 „
Mg O	=	66,8 „
SiO_2	=	234,9 „
Al_2O_3	=	87,1 „
		651,9 kg.

Die Schlacke enthält noch 0,83 % Fe O und 11,85 % Mn O, um welchen Prozentsatz die

Tabelle III.

Versuch II: Mittlere Analysen im Trockenen.

	Rost I	Rost II	Spat I	Spat II	Mangan	Kalk	Koks	Hammer-schlag	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Fe_2O_3	67,55	66,55	—	—	—	—	2,61	—	—	—	53,46
Fe_3O_4	—	—	—	—	9,79	—	—	82,93	—	—	—
FeO	—	—	43,89	42,21	—	—	—	11,65	—	0,83	—
Mn_3O_4	13,41	12,90	—	—	—	—	0,01	—	—	—	11,33
MnO_2	—	—	—	—	69,99	—	—	—	—	—	—
MnO	—	—	9,21	8,36	6,70	—	—	0,92	—	11,85	—
CaO	1,41	1,48	1,17	1,25	1,10	51,54	0,40	1,48	—	36,13	2,98
MgO	3,22	3,28	2,56	2,25	1,15	1,23	0,16	1,08	—	8,26	4,22
SiO_2	10,32	14,60	8,75	13,00	7,95	0,91	3,60	2,10	Si = 1,14	35,08	6,37
Al_2O_3	2,59	2,57	2,54	2,42	2,82	1,50	2,95	4,55	—	9,67	5,79
CO_2	—	—	36,63	34,63	—	41,91	—	—	—	—	6,30
P_2O_5	—	—	—	—	0,22	—	0,09	—	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	87,90	—	4,80	—	9,03
Asche	—	—	—	—	—	—	10,13	—	—	—	—
Fe	47,24	46,54	34,36	32,98	6,85	0,50	1,83	69,20	82,91	0,65	37,39
Mn	9,76	9,20	7,14	6,48	49,90	—	0,01	0,72	10,83	9,19	8,20
Cu	0,06	0,24	0,05	0,19	0,04	—	—	—	0,22	—	0,02
P	—	—	—	—	0,10	—	0,04	—	0,06	—	—
S	0,37	0,72	0,34	0,74	—	—	1,20	—	0,05	2,13	—
Nässe	7,50	7,50	3,00	1,25	0,60	0,50	9,72	8,00	—	—	—

Tabelle IV. **Versuch II. Stoffliche Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall.**

	Rost I	Rost II	Spat I	Spat II	Mangan	Kalk	Koks	Hammer-schlag	Summe	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Menge:	769,0	418,2	511,3	234,1	42,2	430,5	1004,5	18,5	—	1000,0	746,5	23,9
Fe_2O_3	519,4	278,3	—	—	—	—	26,2	—	823,9	—	—	12,7
Fe O	—	—	224,8	98,8	F_3O_4=4,1	2,7	—	2,1	4,1 328,4	—	6,1	—
Mn_3O_4	103,0	53,9	—	—	—	—	0,1	—	157,0	—	—	2,7
$Mn O_2$	—	—	—	—	29,5	—	—	—	29,5	—	—	—
Mn O	—	—	47,0	19,5	2,8	—	—	—	69,3	—	88,4	—
Ca O	10,8	6,1	5,9	2,9	0,5	221,8	4,0	0,2	252,2	—	269,7	0,7
Mg O	24,7	13,7	16,7	5,2	0,5	5,2	1,6	0,1	67,7	—	61,6	1,0
$Si O_2$	79,3	61,0	44,7	30,4	3,3	3,9	36,1	0,3	259,0	24,1	261,8	1,5
Al_2O_3	19,9	10,7	12,9	5,6	1,2	6,4	29,6	0,8	87,1	—	72,1	1,3
CO_2	—	—	186,7	81,0	—	180,4	—	—	448,1	—	—	1,5
P_2O_5	—	—	—	—	0,09	—	0,90	—	1,0	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	882,9	—	882,9	48,0	—	2,1
Asche	—	—	—	—	—	—	10,2	—	10,2	—	—	—
Fe	363,2	194,6	175,6	77,2	2,8	2,1	18,3	12,8	846,6	829,1	4,8	8,9
Mn	74,7	38,4	36,5	15,1	21,0	—	0,1	0,1	185,9	108,3	68,6	1,9
Cu	0,4	1,0	0,2	0,4	0,01	—	—	—	2,01	2,2	—	0,004
P	—	—	—	—	0,04	—	0,4	—	0,44	0,6	—	—
S	2,8	3,0	1,7	1,7	—	—	12,1	—	21,3	0,5	15,9	0,2
Nässe	—	—	—	—	—	—	—	—	227,2	—	—	—

Schlackenmenge zu vergrößern ist, also 651,9 : 0,8732 = 746,5 kg Schlacke.

Berechnung der Gas-, Wind-, Staub- und Feuchtigkeitsmengen.

Gasanalyse: 10,34 % CO_2, 28,08 % CO, 0,68 % CH_4, 1,37 % H, 59,3 % N.

1 m³ Gas enthält dann:

0,3910 × 0,535 955 = 0,20 955 kg C.

Eingebracht werden:

aus Koks	= 240 597 × 0,8790		= 211 484,7 kg C.
Spat I	= 122 473 × 0,3663 =	44 861,8 kg CO_2	
„ II	= 56 072 × 0,3463 =	19 417,7 „ „	
Kalk	= 103 115 × 0,4191 =	43 215,4 „ „	
		107 494,9 kg CO_2	= 29 313,8 „ „
			240 798,5 kg C.
In das Eisen gehen: 239 500 × 0,048			= 11 496,0 „ „
In den Staub gehen, bei 25 kg Staub pro t Eisen			
5987,5 × 0,0903			= 540,6 „ „
5987,5 × 0,0630 = 377,2 kg CO_2			= 102,8 „ „
			12 139,4 kg C.
Also gehen in das Gas:			228 659,1 kg C.

Diese liefern dann: 1 091 101,1 m³ Gas

= 4 555,7 „ „ pro t Eisen,

= 4,53 „ „ „ 1 kg Koks,

= 5,15 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Diese 1 091 101,1 m³ Gichtgas enthalten:

649 532,4 m³ N = 814 773,4 kg N.

Vom Koks werden mitgebracht:

240 597 × 0,008 = 1 924,7 „ „

Also entstammen dem Gebläsewind = 812 848,7 kg N.

entsprechend: 797 600,6 m³ Wind

= 3 330,2 „ „ pro t Eisen

= 3,31 „ „ „ 1 kg Koks

= 3,77 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Die aus der Maschinenleistung berechnete Windmenge beträgt 860 347 m³, so daß 7,2 % Verluste eingetreten sind.

Die Staubmenge betrug 5,25 gr pro 1 m^3 Gas, also

$$1\,091\,101{,}1 \times \frac{5{,}25}{1000} = 5728{,}2 \text{ kg Staub,}$$

$$= \quad 23{,}9 \quad \text{„ pro t Eisen.}$$

Bei einer Temperatur von 12° C. im Gebläsehaus und einem Barometerstand von 741 mm Q.-S. betrug die Feuchtigkeitsmenge der Luft = 10,3 gr pro 1 m^3, also

$$V_0 = \frac{741 \times 273}{760 \times 285} = 0{,}9327 \text{ m}^3$$

$$\text{Feuchtigkeitsmenge} = \frac{3330{,}2 \times 10{,}3}{0{,}9327 \times 1000} = 36{,}77 \text{ kg.}$$

Stoffbilanzen.

Eisen:

Einbringen

aus dem Möller 846,6 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	829,1 kg =	97,93 %	vom Einbringen
Schlacke:	4,8 „ =	0,57 %	„ „
Staub:	8,9 „ =	1,05 %	„ „
	842,8 kg =	99,55 %	vom Einbringen
Einbringen	846,6 kg =	100,00 %	
Ausbringen	842,8 „ =	99,52 %	
	− 3,1 kg =	−0,45 %	

Mangan:

Einbringen

aus dem Möller 185,9 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	108,3 kg =	58,26 %	vom Einbringen
Schlacke:	68,6 „ =	36,90 %	„ „
Staub:	1,9 „ =	1,02 %	„ „
Verflüchtig.:	7,1 „ =	3,82 %	„ „
	185,9 kg =	100,00 %	vom Einbringen
Einbringen	185,9 kg =	100,00 %	
Ausbringen	185,9 „ =	100,00 %	

Kohlenstoff:

Einbringen

Koks	882,9 kg	
CO_2 aus Erz + Kalk	= 122,2 „	
	1 005,1 kg	= 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	48,0 kg	= 4,77 %	vom Einbringen
Gas:	954,4 „	= 94,98 %	„ „
Staub:	2,5 „	= 0,25 %	„ „
	1 004,9 kg	= 100,00 %	vom Einbringen.

Sauerstoff:

Einbringen

aus Fe_3O_4	= 19,4 kg	= 5,4 kg O	
Fe_2O_3	= 811,2 „	= 243,7 „	„
Fe O	= 322,3 „	= 71,7 „	„
Ca O	= 38,0 „	= 10,8 „	„
SiO_2	= 24,1 „	= 12,7 „	„
Cu O	= 2,5 „	= 0,5 „	„
CO_2	= 448,1 „	= 325,8 „	„
P_2O_5	= 1,0 „	= 0,5 „	„
H_2O des Windes	= 36,7 „	= 32,5 „	„
Wind		= 1 000,3 „	„

aus Manganoxyden:

MnO_2	= 29,5 kg	= 10,8 kg O	
Mn_3O_4	= 154,3 „	= 30,0 „	„
Mn O	= 29,5 „	= 6,5 „	„
		47,3 kg O	

abzüglich Mn O der Schlacke:

	88,4 kg	= 19,6 kg O	
	bleibt	27,7 kg O =	27,7 kg O
Demnach Sauerstoffeinbringen			1 731,6 kg O

Ausbringen

aus CO_2 des Gases	= 677,5 kg O	
„ CO „ „	= 927,3 „	„
Demnach Sauerstoffausbringen	1 604,8 kg O	

Einbringen	1 731,6 kg	= 100,00 %
Ausbringen	1 604,8 „	= 92,68 %
	— 126,8 kg	= — 7,32 %

Wärmeeinnahme.

Vom Möller eingebrachte Wärme:

Siegerländer Rost	I =	769,0 ×	0,1560 =	119,9	W.E.
„ „	II =	418,2 ×	0,1560 =	65,2	„
„ Spat	I =	511,3 ×	0,1560 =	79,7	„
„ „	II =	234,1 ×	0,1560 =	36,5	„
Manganerz	=	42,2 ×	0,1560 =	6,6	„
Kalk	=	430,5 ×	0,2099 =	90,4	„
Koks	=	1004,5 ×	0,2030 =	203,9	„
Hammerschlag	=	18,5 ×	0,1688 =	3,1	„
				605,3	W.E.

Bei einer mittleren Temperatur von 5° C. ist die Eigenwärme 605,3 × 5 = 3 027,0 W.E.

Die vom Winde mitgebrachte Wärme:

Mittlere Windtemperatur = 762° C., Windmenge = 3330,2 m^3

2630,8 m^3 N = 3306,3 kg N = 841,0

699,4 „ O = 1000,3 „ O = 227,0

1068,0 × 762 = 813 816,0 W.E.

dazu der Wärmeinhalt der Luftfeuchtigkeit mit:

36,77 × 636 = 23 385,7 W.E.

36,77 × 662 × 0,5562 = 13 538,8 „

36 924,5 W.E.

also gesamte Wärmemenge:

813 816,0 + 36 924,5 = 850 740,5 W.E.

Durch Kohlenstoffverbrennung entstandene Wärme:

aus CO_2 = 471,2 m^3, diese enthalten 252,4 kg C

„ CO = 1279,2 „ „ „ 685,5 „ „

„ CH_4 = 30,9 „ „ „ 16,5 „ „

Der Möller brachte mit 448,1 kg CO_2 = 122,1 kg C, sodaß tatsächlich zu Kohlensäure verbrannt sind 130,3 kg C. Die auftretende Wärmetönung ist dann:

130,3 ×	8080 =	1 052 814,0 W.E.
685,5 ×	2473 =	1 695 241,5 „
16,5 ×	1812 =	29 898,0 „
832,3 kg C		2 777 953,5 W.E.

Wärmeausgabe.

Wärmeverbrauch zur Reduktion von:

1)	Fe_3O_4 . .	19,4 × 1 193 =	23 144,0	W.E.
2)	Fe_2O_3 . .	811,2 × 1 260 =	1 022 112,0	„
3)	Fe O . . .	322,3 × 1 053 =	339 381,0	„
4)	$Si O_2$ . .	24,1 × 3 680 =	88 688,0	„
5)	Cu O . .	2,5 × 256 =	640,0	„
6)	P_2O_5 . .	1,0 × 2 732 =	2 732,0	„
7)	H_2O . .	36,7 × 3 194 =	117 442,3	„

8) Manganoxyde

Mn O_2	29,5 =	41 850,0	W.E.
Mn_3O_4	157,0 =	222 610,0	„
Mn O	69,3 =	92 728,0	„
		357 188,0	W.E.

In Abzug zu bringen sind:

aus Staub Mn_3O_4	2,7 =	3 821,3	W.E.
„ Schlacke Mn O	88,4 =	118 366,2	„
		122 188,0	W.E.
Gesamte Wärmemenge für Mn-Oxyde		235 000,0 W.E.	235 060,0 W.E.

9) Wärmeabfuhr durch:

Gichtgase:	CO_2	931,6 × 0,2169 =	202,0	W.E.
	CO	1 606,0 × 0,2426 =	389,6	„
	CH_4	22,1 × 0,3280 =	7,2	„
	H	5,6 × 3,4090 =	19,0	„
	N	3 408,1 × 0,2438 =	830,8	„
			1 448,6	W.E.

Bei einer Gichttemperatur von 247° C. beträgt die Wärmemenge:

1448,6 × 247	=	357 804,2 W.E.
10) Roheisen	=	277 000,0 „
11) Schlacke 746,5 × 440	=	328 460,0 „
12) Staub 23,9 × 0,17 × 247	=	1 002,8 „
13) Wärmeverbrauch für: Ca S-Bildung 49,6 × 1150	=	57 040,0 „
14) H_2O-Verdampfung 227,2 × 636 = 144 499,2		
227,2 × 147 × 0,4989 . . . . = 16 662,4		
161 161,6	=	161 161,6 „

15) CO_2-Austreibung

Kohlensäure ist gebunden an:

Eisen	200,3 × 342	=	68 512,6 W.E.
Mangan	41,0 × 342	=	14 022,0 „
Kalk	178,4 × 1016	=	181 254,4 „
Magnesia	28,4 × 729	=	20 703,6 „
			284 492,6 W.E.

Wärmebilanz.

Einnahmen.

Möller	=	3 027,0	W.E. =	0,08 %
Wind	=	850 740,5	„ =	23,43 %
C-Verbrennung	=	2 777 953,5	„ =	76,49 %
		3 631 721,0	W.E. =	100,00 %

Ausgaben.

Reduktion von	Fe_3O_4 .	=	23 144,0	W.E. =	0,64 %	der Einnahme
„ „	Fe_2O_3 .	=	1 022 112,0	„ =	28,14 %	„
„ „	Fe O . .	=	339 381,9	„ =	9,34 %	„
„ der	Mn-Oxyde	=	235 000,0	„ =	6,47 %	„
„ von	$Si O_2$ . .	=	88 688,0	„ =	2,47 %	„
„ „	Cu O . .	=	640,0	„ =	0,01 %	„
„ „	P_2O_5 . .	=	2 732,0	„ =	0,04 %	„
„ „	H_2O . .	=	117 442,3	„ =	3,23 %	„
Ausgabe durch	S	=	57 040,0	„ =	1,57 %	„
„ „	Gas . . .	=	357 804,2	„ =	9,85 %	„
„ „	Roheisen.	=	277 000,0	„ =	7,63 %	„
„ „	Schlacke	=	328 460,0	„ =	9,04 %	„
„ „	Staub . .	=	1 002,8	„ =	0,03 %	„
„ „	H_2O-Verd.	=	161 161,6	„ =	4,47 %	„
„ „	CO_2-Austr.	=	284 492,6	„ =	7,83 %	„
			3 296 101,4	W.E. =	90,76 %	der Einn.

Einnahmen	3 631 721,0	W.E. =	100,00 %
Ausgaben	3 296 101,4	„ =	90,76 %
	— 335 619,6	W.E. =	−9,24 %

Versuch III.

Darstellung von Spiegeleisen mit 12,91 % Mangan.

Versuchszeit vom 16. bis 25. März.

Es wurden während dieser Zeit gegichtet:

Siegerländer Rost	I =	519 866 kg	=	37,87 %
„ „	II =	246 669 „	=	17,97 „
„ Spat	I =	361 925 „	=	26,37 „
„ „	II =	163 720 „	=	11,93 „
Manganerz	=	43 714 „	=	3,19 „
Kalk	=	266 299 „		
Koks	=	744 150 „		
Hammerschlag	=	36 750 „	=	2,67 „
		2 383 023 kg		

Diese entsprechen in trockenem Zustande 2 243 224 kg, so daß insgesamt 139 799 kg Nässe in den Ofen gelangen = 218,4 kg pro t Eisen.

Hieraus wurden dargestellt:

640 100,0 kg Roheisen,
447 940,0 „ Schlacke,
14 873,0 „ Staub.

Die mittleren Analysen sowie die stofflichen Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall sind in Tabelle V und VI zusammengestellt.

Berechnung der Schlackenmenge:

Das Eisen enthält 1,65 % Si = 34,9 kg SiO_2. In die Schlacke gehen 20,6 kg S, welche 49,4 kg Ca S und 37,9 kg Ca O entsprechen. Folglich beträgt die Schlackenmenge:

Ca O	=	214,4 kg
Ca S	=	49,4 „
Mg O	=	51,9 „
SiO_2	=	212,0 „
Al_2O_3	=	89,7 „
		617,4 kg,

welche Menge sich, da die Schlacke 0,47 % Fe O und 11,31 % Mn O enthält, auf 617,4 : 0,8822 = 699,8 kg Schlacke erhöht.

Berechnung der Gas-, Wind-, Staub- und Feuchtigkeitsmengen.

Gasanalyse: 9,5 % CO_2, 28,9 % CO, 0,76 % CH_4, 1,62 % H, 59,22 % N.

1 m^3 Gas enthält dann: 0,5916 × 0,535955 × 0,20987 kg C.

Eingebracht werden:

aus Koks	= 675 177 × 0,8790		= 593 480,5 kg C.
Spat I	= 354 687 × 0,3450	= 122 367,9 kg CO_2	
„ II	= 162 902 × 0,3460	= 56 346,0 „ „	
Kalk	= 264 978 × 0,4320	= 114 470,4 „ „	
		293 183,4 kg CO_2	= 77 526,0 „
			671 006,5 kg C.

Tabelle V. **Versuch III: Mittlere Analysen im Trockenen.**

	Rost I	Rost II	Spat I	Spat II	Mangan	Kalk	Koks	Hammer-schlag	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Fe_3O_4	—	—	—	—	9,79	—	—	82,93	—	—	—
Fe_2O_3	67,86	66,86	—	—	—	—	2,61	—	—	—	53,82
Fe O	—	—	43,72	42,82	—	0,32	—	11,65	—	0,47	—
Mn_3O_4	13,59	12,88	—	—	—	—	0,01	—	—	—	10,70
Mn O	—	—	9,03	8,33	6,79	—	—	0,92	—	11,31	—
MnO_2	—	—	—	—	69,99	—	—	—	—	—	—
Ca O	1,27	1,43	1,11	1,27	1,10	54,16	0,40	1,48	—	36,96	3,05
Mg O	3,17	3,25	1,16	2,23	1,15	0,72	0,16	1,08	—	9,20	5,13
SiO_2	10,10	14,50	8,10	11,05	7,95	0,70	3,60	4,00	Si = 165	34,83	5,06
Al_2O_3	2,69	2,81	2,41	2,57	2,82	1,45	2,95	4,65	—	9,77	7,51
CO_2	—	—	34,50	34,60	—	43,20	—	—	—	—	4,11
P_2O_5	—	—	—	—	0,22	—	0,09	—	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	87,90 N = 0,8	—	4,99	—	10,98
Asche	—	—	—	—	—	—	10,13	—	—	—	—
Fe	47,46	46,76	34,16	33,46	6,85	0,25	1,83	69,20	80,12	0,37	37,64
Mn	9,51	9,01	7,00	6,46	49,90	—	0,01	0,72	12,90	8,84	7,77
Cu	0,064	0,30	0,048	0,28	0,04	—	—	—	0,25	—	—
P	—	—	—	—	0,10	—	0,04	—	0,05	—	—
S	0,36	0,80	0,35	0,75	—	—	1,20	—	0,04	2,28	—
Nässe	8,25	6,25	2,00	0,50	0,63	0,47	9,72	8,00	—	—	—

Tabelle VI. **Versuch III: Stoffliche Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall.**

	Rost I	Rost II	Spat I	Spat II	Mangan	Kalk	Koks	Hammer-schlag	Summe	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Menge:	745,1	361,2	554,1	254,4	67,8	413,9	1054,7	37,1	—	1000,0	699,8	23,2
Fe_2O_3	504,9	241,5	—	—	$Fe_3O_4 = 6,6$	—	27,4	—	773,8 6,6	—	—	12,4
Fe O	—	—	242,2	108,9	—	1,4	—	4,3	356,8	—	3,2	—
Mn_3O_4	101,1	46,5	—	—	—	—	0,1	—	147,7	—	—	2,4
$Mn O_2$	—	—	—	—	47,4	—	—	—	47,4	—	—	—
Mn O	—	—	50,0	21,2	4,6	—	—	0,3	76,1	—	79,0	—
Ca O	9,4	5,1	6,1	3,2	0,7	224,2	4,2	0,5	253,4	—	258,6	0,7
Mg O	23,6	11,7	6,4	5,6	0,8	2,9	1,7	0,4	53,1	—	64,3	1,1
$Si O_2$	75,1	52,4	44,8	28,1	5,4	2,8	37,9	1,5	248,0	Si = 16,5	243,7	1,1
Al_2O_3	20,0	10,1	13,8	6,5	1,9	6,0	31,1	1,7	90,6	—	68,3	1,7
$C O_2$	—	—	191,1	88,0	—	178,0	—	—	457,1	—	—	0,9
P_2O_5	—	—	—	—	0,14	—	0,95	—	1,1	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	927,1 N = 8,4	—	927,1 8,4	—	—	2,5
Asche	—	—	—	—	—	—	106,8	—	106,8	—	—	—
Fe	253,1	168,9	189,2	85,1	4,6	1,00	19,3	25,6	846,8	801,2	2,5	8,7
Mn	70,7	32,5	38,7	16,4	33,8	—	0,1	0,2	192,4	129,1	61,8	1,8
Cu	0,47	1,00	0,26	0,71	0,01	—	—	—	2,45	2,5	—	—
P	—	—	—	—	0,06	—	0,4	—	0,46	0,5	—	—
S	2,6	2,8	1,9	1,9	—	—	12,0	—	21,2	0,4	15,9	0,2
Nässe	—	—	—	—	—	—	—	—	218,4	—	—	—

In das Eisen gehen: 640 100 × 0,0499 = 31 940,9 kg C.
In den Staub gehen, bei 25 kg Staub pro t Eisen:
16 002,0 × 0,1098 = 1 757,0 „ „
16 002,0 × 0,0751 = 1201,7 kg CO_2 = 327,7 „ „
34 025,6 kg C.

Also gehen in das Gas: 636 980,9 kg C.
Diese liefern dann: 3 035 321,2 m³ Gas
= 4 741,0 „ „ pro t Eisen,
= 4,49 „ „ „ 1 kg Koks,
= 5,11 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Diese 3 035 321,2 m³ Gas enthalten:
1 797 517,2 m³ N = 2 254 805,5 kg N.
Vom Koks werden mitgebracht:
675 177 × 0,008 = 5 401,4 „ „
Also entstammen dem Gebläsewind = 2 249 404,1 kg N.
entsprechend 2 207 203,2 m³ Wind
= 3 448,2 „ „ pro t Eisen,
= 3,26 „ „ „ 1 kg Koks,
= 3,71 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Die aus der Maschinenleistung berechnete Windmenge beträgt 2 650 383 m³, so daß 16,7 % Verluste eingetreten sind.

Die Staubmenge betrug 4,9 g pro 1 m³ Gas, also:

$$3\,035\,321{,}2 \times \frac{4{,}9}{1000} = 14\,873{,}0 \text{ kg Staub}$$

= 23,2 „ „ pro t Eisen.

Die Temperatur im Gebläsehaus war 16,5° C, der Barometerstand 747 mm Q.-S., so daß 1 m³ Luft = 15,3 g Wasserdampf enthält

$$V_0 \ldots = \frac{747 \times 273}{760 \times 289{,}5} = 0{,}9268 \text{ m}^3.$$

$$\text{Feuchtigkeit} \ldots = \frac{3448{,}2 \times 15{,}3}{0{,}9268 \times 1000} = 57{,}0 \text{ kg}.$$

Stoffbilanzen.

Eisen:

Einbringen

aus dem Möller 846,8 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	801,2 kg	=	94,60 %	vom Einbringen
Schlacke:	3,4 „	=	0,40 %	„ „
Staub:	8,7 „	=	1,00 %	„ „
	813,3 kg	=	96,00 %	vom Einbringen

Einbringen	846,8 kg	=	100,00 %
Ausbringen	813,3 „	=	96,00 %
	−33,5 kg	=	−4,00 %

Mangan:

Einbringen

aus dem Möller 192,4 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	129,1 kg	=	67,10 %	vom Einbringen
Schlacke:	61,8 „	=	32,10 %	„ „
Staub:	1,8 „	=	0,80 %	„ „
Verflüchtig.:	—		—	
	192,7 kg	=	100,00 %	vom Einbringen

Einbringen	192,4 kg	=	100,00 %
Ausbringen	192,7 „	=	100,00 %
	—		—

Kohlenstoff:

Einbringen

Koks	=	927,1 kg
CO_2 aus Erz + Kalk	=	224,6 „
	1 051,7 kg	= 100,00 %

Ausbringen

Roheisen:	49,9 kg	=	4,75 %	vom Einbringen
Gas:	994,8 „	=	94,58 %	„ „
Staub:	2,7 „	=	0,26 %	„ „
	1047,4 kg	=	99,59 %	vom Einbringen

Einbringen	1051,7 kg	=	100,00 %
Ausbringen	1047,4 „	=	99,59 %
	− 4,3 kg	=	− 0,41 %

Sauerstoff:

Einbringen

aus Fe_3O_4	=	37,4 kg	=	10,3 kg O
Fe_2O_3	=	761,4 „	=	228,6 „ „
FeO	=	353,6 „	=	78,7 „ „
CaO	=	37,9 „	=	10,8 „ „
SiO_2	=	34,9 „	=	18,5 „ „

aus Cu O	= 3,1 kg	=	0,6 kg O
CO_2	= 457,1 „	=	332,4 „ „
$P_2 O_5$	= 1,1 „	=	0,6 „ „
$H_2 O$	= 57,0 „	=	50,6 „ „
Wind		=	1128,9 „ „

aus Manganoxyden:

$Mn O_2$ =	47,4 kg =	17,4 kg O
$Mn_3 O_4$ =	145,3 „ =	28,3 „ „
Mn O =	76,1 „ =	16,9 „ „
		62,6 kg O

abzüglich Mn O der Schlacke:

79,0 kg	= 17,5	„ „
bleibt	45,1 kg O	= 45,1 „ „

Demnach Sauerstoffeinbringen . . . . . 1905,1 kg O

Ausbringen

aus CO_2 des Gases	=	647,7 kg O
„ CO „ „	=	982,8 „ „
Demnach Sauerstoffausbringen		1630,5 kg O
Einbringen 1905,1 kg	=	100,00 %
Ausbringen 1630,5 „	=	85,59 %
—274,6 kg	=	—14,41 %

Wärmeeinnahme.

Vom Möller eingebrachte Wärme:

Siegerländer Rost I	= 745,1	× 0,1560	= 116,2	W.E.
„ „ II	= 361,2	× 0,1560	= 56,3	„
„ Spat I	= 554,1	× 0,1560	= 86,4	„
„ „ II	= 254,4	× 0,1560	= 39,6	„
Manganerz	= 67,8	× 0,1560	= 10,5	„
Kalk	= 413,9	× 0,2099	= 86,8	„
Koks	= 1054,7	× 0,2030	= 214,1	„
Hammerschlag	= 37,1	× 0,1688	= 6,2	„
			616,1	W.E.

Bei einer mittleren Temperatur von 7,8° C. ist die Eigenwärme: 616,1 × 7,8 = 4 805,6 W.E.

Die vom Winde mitgebrachte Wärme:

Mittlere Windtemperatur = 805° C., Windmenge = 3448,2 m^3.

2724,1 m^3 N	= 3423,3 kg N	=	870,8
724,1 „ O	= 1035,7 „ O	=	235,1
	1105,9	× 805 =	890 249,5 W.E.

dazu kommt der Wärmeinhalt der Luftfeuchtigkeit mit

57,0 × 636	=	36 271,0 W.E.
57,0 × 705 × 0,5706	=	22 941,6 „
Gesamte Wärmemenge	=	949 462,1 W.E.

Durch Kohlenstoffverbrennung entstandene Wärme:

aus CO_2	=	450,3 m^3,	diese enthalten 241,3 kg C.
„ CO	=	1370,1 „	„ „ 734,3 „ „
„ CH_4	=	36,0 „	„ „ 19,2 „ „

Der Möller brachte mit 457,1 kg CO_2 = 124,6 kg C, sodaß tatsächlich 116,7 kg C zu Kohlensäure verbrannt sind.

Die auftretende Wärmetönung ist dann:

116,7 × 8080	=	942 916,0 W.E.
734,3 × 2473	=	1 815 923,9 „
19,2 × 1812	=	34 719,4 „
870,2 kg C		2 793 559,3 W.E.

Wärmeausgabe.

Wärmeverbrauch zur Reduktion von:

1)	Fe_3O_4 . .	37,3 × 1193	=	44 498,9 W.E.
2)	Fe_2O_3 . .	761,4 × 1260	=	959 364,0 „
3)	Fe O . . .	353,6 × 1053	=	372 340,8 „
4)	$Si O_2$ . . .	34,9 × 3680	=	128 432,0 „
5)	Cu O . . .	3,1 × 256	=	793,6 „
6)	P_2O_5 . .	1,1 × 2732	=	3 005,2 „
7)	H_2O . . .	57,03 × 3194	=	182 152,8 „
8)	Mn-Oxyde $Mn O_2$ . .	47,4	=	67 275,0 W.E.
	Mn_3O_4 .	147,7	=	209 411,0 „
	Mn O . .	76,1	=	101 897,0 „
				378 583,0 W.E.

In Abzug zu bringen sind:

aus Staub Mn_3O_4	2,4	=	3 349,0 W.E.
„ Schlacke Mn O	79,0	=	105 703,0 „
			109 052,0 W.E.

Gesamte Wärmemenge für Mn-Oxyde	269 531,0 W.E.	=	269 531,0 „
9) Wärmeabfuhr durch: Gichtgase CO_2	890,7 × 0,2160	=	193,1 „
CO	1720,1 × 0,2426	=	417,2 „
CH_4	25,8 × 0,3280	=	8,4 „
H	6,9 × 3,4090	=	23,5 „
N	3528,3 × 0,2438	=	860,1 „
			1 502,3 W.E.

Bei einer Gichttemperatur von 283° C. beträgt die Wärmemenge: $1502{,}3 \times 283 = 425\,150{,}9$ W.E.

10) Roheisen		= 277 000,0	W.E.
11) Schlacke 699,8 × 440		= 307 912,0	„
12) Staub 23,2 × 0,17 × 283		= 1 116,1	„
13) Wärmeverbrauch für: Ca S-Bildung 49,4 × 1150		= 56 810,0	„
14) H_2 O-Verdampfung 218,4 × 636 = 138 902,4			
218,4 × 183 × 0,4989 . . . . = 19 939,6			
	158 842,0	= 158 842,0	„
15) CO_2-Austreibung.			
Kohlensäure ist gebunden an:			
Eisen 216,9 × 342		= 73 872,0	W.E.
Mangan 44,0 × 342		= 15 048,0	„
Kalk 181,1 × 1016		= 183 997,6	„
Magnesia 16,0 × 729		= 11 664,4	„
		284 582,0	W.E.

Wärmebilanz.

Einnahmen.

Möller	4 805,6 W.E.	=	0,13 %
Wind	949 462,1 „	=	25,33 %
C-Verbrennung.	2 793 559,3 „	=	74,54 %
	3 747 827,0 W.E.	=	100,00 %

Ausgaben.

Reduktion von Fe_3O_4 . .	= 44 498,9 W.E.	=	1,19 %	der Einnahme
„ „ Fe_2O_3 . .	= 959 364,3 „	=	25,60 %	„
„ „ Fe O . . .	= 372 340,8 „	=	9,93 %	„
„ der Mn-Oxyde	= 269 531,0 „	=	7,19 %	„
„ von SiO_2 . .	= 128 432,0 „	=	3,43 %	„
„ „ Cu O . .	= 793,6 „	=	0,02 %	„
„ „ P_2O_5 . .	= 3 005,2 „	=	0,08 %	„
„ „ H_2 O . .	= 182 152,8 „	=	4,86 %	„
Ausgabe durch S	= 56 810,0 „	=	1,51 %	„
„ „ Gas . . .	= 425 150,9 „	=	11,34 %	„
„ „ Roheisen .	= 277 000,0 „	=	7,39 %	„
„ „ Schlacke .	= 307 912,0 „	=	8,22 %	„
„ „ Staub . .	= 1 116,1 „	=	0,03 %	„
„ „ H_2 O-Verd.	= 158 842,0 „	=	4,24 %	„
„ „ CO_2-Austr.	= 284 582,0 „	=	7,59 %	„
	3 471 531,6 W.E.	=	92,63 %	der Einn.

Einnahmen	3 747 827,0 W.E.	= 100,00 %
Ausgaben	3 471 531,6 „	= 92,63 %
	−276 295,4 W.E.	= −7,37 %

Versuch IV.

Darstellung von Spiegeleisen mit 20,32 % Mangan.

Versuchszeit vom 18. bis 28. Juni.

Es wurden während dieser Zeit gegichtet:

Siegerländer Rost	I =	428 950 kg	= 27,91
„ „	II =	428 950 „	= 27,91
„ Spat	=	434 920 „	= 28,30
Manganerz	=	244 160 „	= 15,88
Kalk	=	306 160 „	
Koks	=	1 027 050 „	
Wascheisen	=	20 400 „	
		2 890 590 kg	

Diese entsprechen in trockenem Zustande 2 748 408 kg, so daß insgesamt 142 182 kg Nässe in den Ofen gelangen = 189,2 kg pro t Eisen.

Hieraus wurden dargestellt:

756 600,0 kg Roheisen,
555 268,7 „ Schlacke,
37 351,5 „ Staub.

Die mittleren Analysen sowie die stofflichen Mengen für die Darstellung von 1000 kg Metall sind in Tabelle VII und VIII zusammengestellt.

Berechnung der Schlackenmenge:

Das Eisen enthält 2,01 % Si, welche 42,2 kg SiO_2 entsprechen. Nun werden 0,5 kg Si vom Wascheisen mitgebracht, so daß nur 19,6 kg Si = 41,5 kg SiO_2 in Rechnung zu setzen sind. In die Schlacke gehen 17,2 kg S, welche 41,2 kg Ca S und 31,6 kg Ca O entsprechen. Folglich beträgt die Schlackenmenge:

Tabelle VII. **Versuch IV: Mittlere Analysen im Trockenen.**

	Rost I	Rost II	Spat	Mangan	Kalk	Koks	Wasch-eisen	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Fe_2O_3	68,68	66,06	—	Fe_3O_4=4,69	—	2,4	—	—	—	Fe_3O_4 =59,17
FeO	—	—	42,42	—	0,42	—	—	—	0,49	—
Mn_3O_4	13,86	13,35	—	—	—	—	—	—	—	12,79
MnO_2	—	—	—	75,90	—	—	—	—	—	—
MnO	—	—	9,05	1,27	—	—	—	—	12,12	—
CaO	1,80	1,19	0,95	1,41	54,88	0,01	4,50	—	36,50	3,16
MgO	3,17	3,02	2,44	1,06	0,60	0,37	1,19	—	10,53	6,59
SiO_2	10,12	12,50	11,15	11,75	0,71	0,15	8,18 Si=2,01	Si=2,01	34,05	7,16
Al_2O_3	3,38	4,43	2,85	2,94	0,86	3,55	3,35	—	11,15	5,04
CO_2	—	—	35,16	—	—	—	—	—	—	2,34
P_2O_5	—	—	—	0,18	—	0,12	—	—	—	—
C	—	—	—	—	—	87,22	2,31	5,98	—	3,71
N	—	—	—	—	—	0,75	—	—	—	—
Asche	—	—	—	—	—	10,02	—	—	—	—
Fe	48,03	46,20	33,14	31,40	0,33	1,71	78,80	71,45	0,39	41,38
Mn	10,05	9,68	7,02	49,03	—	0,01	0,86	20,32	9,40	9,27
Cu	0,064	0,059	0,05	0,04	—	—	0,02	0,10	—	0,04
P	—	—	—	0,08	—	0,05	0,81	0,10	—	—
S	0,35	0,35	0,37	—	—	0,92	0,08	0,04	1,93	—
Nässe	8,50	8,63	1,50	0,62	0,46	5,77	—	—	—	—

Tabelle VIII. **Versuch IV: Stoffliche Mengen zur Darstellung von 1000 kg Metall.**

	Rost I	Rost II	Spat	Mangan	Kalk	Koks	Wasch-eisen	Summe	Roh-eisen	Schlacke	Staub
Menge:	518,7	518,0	566,2	320,7	402,7	1297.0	26,9	—	1000,0	733,9	49,3
Fe_2O_3	356,2	342,1	—	—	—	30,6	—	728,9	—	—	29,1
FeO	—	—	240,1	—	1,6	—	—	241,7	—	3,5	—
Fe_3O_4	—	—	—	15,0	—	—	—	15,0	—	—	—
Mn_3O_4	71,8	69,1	—	—	—	0,1	—	—	—	—	6,3
MnO_2	—	—	—	243,4	—	—	—	—	—	—	—
MnO	—	—	51,2	4,0	—	—	—	55,2	—	88,9	—
CaO	9,3	6,1	5,3	3,5	221,0	4,7	1,2	251,1	—	267,8	1,5
MgO	16,4	15,6	13,8	3,3	2,4	1,9	0,3	53,7	—	77,2	3,2
SiO_2	52,4	64,7	63,1	37,6	2,8	45,4	$Si = {}^{2,2}_{0,5}$	268,2	Si = 20,1	249,8	3,5
Al_2O_3	17,5	22,9	16,1	9,4	3,4	38,4	0,9	108,6	—	81,8	2,4
CO_2	—	—	199,0	—	175,9	—	—	374,9	—	—	1,1
P_2O_5	—	—	—	0,7	—	1,6	—	2,3	—	—	—
C	—	—	—	—	—	1115,5	0,6	1116,1	59,8	—	1,8
N	—	—	—	—	—	9,5	—	9,5	—	—	—
Asche	—	—	—	—	—	129,9	—	129,9	—	—	—
Fe	249,1	239,3	187,6	10.9	1,3	21,8	21,2	730,2	117,5	2,8	20,4
Mn	52,1	50,1	39,7	157,2	—	0,1	0,2	299,4	203,2	68,9	4,5
Cu	0,33	0,30	0,28	0,12		—	—	1,03	1,0	—	0,01
P	—	—	—	0,25	—	0,64	0,21	1,10	1,0	—	—
S	1,81	1,81	2,09	—	—	11,93	0,02	17,66	0,4	14,1	—
Nässe	—	—	—	—	—	—	—	189,2	—	—	—

Ca O	. . =	218,0 kg
Ca S	. . =	41,2 „
Mg O	. . =	50,5 „
$Si O_2$	. . =	227,0 „
$Al_2 O_3$	. . =	106,2 „
		642,9 kg,

welche Menge sich, da die Schlacke noch 0,49 % Fe O und 12,12 % Mn O enthält, auf 642,9 : 0,8759 = 733,9 % kg Schlacke erhöht.

Berechnung der Gas-, Wind-, Staub- und Feuchtigkeitsmengen.

Gasanalyse: 6,46 % CO_2, 29,9 % CO, 0,81 % CH_4, 1,21 % H, 61,62 % N.

1 m^3 Gas enthält dann: 0,3717 × 0,535955 = 0,19921 kg C.

Eingebracht werden:

aus Koks	= 967 790 × 0,8722	= 844 106,4 kg C
„ Wasch.	= 20 400 × 0,0221	= 450,8 „ „
„ Spat	= 428 397 × 0,3516 = 150 624,3 kg CO_2	
„ Kalk	= 304 752 × 0,4370 = 133 176,6 „ „	
	283 800,9 kg CO_2	= 77 392,2 „ „
		921 949,4 kg C.
In das Eisen gehen: 756 600 × 0,0598		= 45 244,6 „ „
In den Staub gehen, bei 40 kg Staub pro t Eisen:		
30 264 × 0,0371		= 1 122,7 „ „
30 264 × 0,0234 = 708,1 kg CO_2		= 193,0 „ „
		46 560,3 kg C.
Also gehen in das Gas:		875 389,1 kg C.

Diese liefern dann: 4 394 300,0 m^3 Gas

= 5 812,0 „ „ pro t Eisen,

4,54 „ „ „ 1 kg Koks,

= 5,20 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Diese 4 394 300,0 m^3 Gas enthalten:

2 707 767,6 m^3 N = 3 396 623,6 kg N.

Vom Koks werden mitgebracht:

$$967\,790 \times 0{,}0075 = 7\,258{,}4 \text{ kg N}$$

Also entstammen dem Gebläsewind = 3 389 365,2 kg N
entsprechend 3 325 068,0 m³ Wind
= 4 395,0 „ „ pro t Eisen,
= 3,43 „ „ „ 1 kg Koks,
= 3,93 „ „ „ 1 „ Koks-C.

Die aus der Maschinenleistung berechnete Windmenge beträgt 3 874 620,3 m³, so daß 13,1 % Verluste eingetreten sind.

Die Staubmenge betrug 8,5 g pro 1 m³ Gas, also:

$$4\,394\,300{,}0 \times \frac{8{,}5}{1000} = 37\,351{,}5 \text{ kg Staub}$$

= 49,4 „ „ pro t Eisen.

Die Temperatur im Gebläsehaus war 23,5° C., der Barometerstand 758 mm Q.-S., so daß 1 m³ Luft = 21,34 g Wasserdampf enthält.

$$V_0 = \frac{758 \times 273}{760 \times 296{,}5} = 0{,}91831 \text{ m}^3.$$

$$\text{Feuchtigkeit} = \frac{4395{,}0 \times 21{,}34}{0{,}9183 \times 1000} = 102{,}13 \text{ kg}.$$

Stoffbilanzen.

Eisen:

Einbringen

aus dem Möller 730,2 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	714,5 kg =	97,85 %	vom Einbringen
Schlacke:	2,8 „ =	0,38 %	„ „
Staub:	20,4 „ =	2,79 %	„ „
	737,7 kg =	101,02 %	vom Einbringen

Einbringen 730,2 kg = 100,00 %
Ausbringen 737,7 „ = 101,02 %
+7,5 kg = +1,02 %

Mangan:

Einbringen

aus dem Möller 299,4 kg = 100,00 %.

Ausbringen

Roheisen:	203,2 kg	=	67,87 %	vom Einbringen
Schlacke:	68,9 „	=	23,01 %	„ „
Staub:	4,5 „	=	1,50 %	„ „
Verflüchtig.	22,8 „	=	7,62 %	„ „
	299,4 kg	=	100,00 %	vom Einbringen

Einbringen 299,4 kg = 100,00 %
Ausbringen 299,4 „ = 100,00 %

— —

Kohlenstoff:

Einbringen

Koks	=	1116,1 kg
CO_2 aus Erz + Kalk	=	102,3 „
		1218,4 kg = 100,00 %

Ausbringen

Roheisen:	59,8 kg	=	4,91 %	vom Einbringen
Gas:	1157,5 „	=	95,00 %	„ „
Staub:	2,0 „	=	0,16 %	„ „
	1219,3 kg	=	100,07 %	vom Einbringen

Einbringen 1218,4 kg = 100,00 %
Ausbringen 1219,3 „ = 100,07 %

— —

Sauerstoff:

Einbringen

aus Fe_3O_4	= 15,0 kg	=	4,1 kg O
Fe_2O_3	= 699,8 „	=	210,3 „ „
Fe O	= 238,2 „	=	53,0 „ „
Ca O	= 31,6 „	=	9,0 „ „
SiO_2	= 41,5 „	=	22,1 „ „
Cu O	= 1,3 „	=	0,2 „ „
CO_2	= 374,9 „	=	272,8 „ „
P_2O_5	= 2,3 „	=	1,3 „ „
H_2O	= 102,1 „	=	90,6 „ „
Wind		=	1320,1 „ „

aus Manganoxyden:

MnO_2	= 243,4 kg	=	89,5 kg O
Mn_3O_4	= 134,7 „	=	26,2 „ „
Mn O	= 55,2 „	=	12,2 „ „
			137,9 kg O

abzüglich Mn O der Schlacke:

88,9 kg	= 19,7 kg O	
bleibt	118,2 kg O =	118,2 kg O
Demnach Sauerstoffeinbringen		2101,6 kg O

Ausbringen

aus CO_2 des Gases	= 539,9 kg O
„ CO „ „	= 1246,6 „ „
Demnach Stauerstoffausbringen	1786,5 kg O

Einbringen	2101,6 kg = 100,00 %
Ausbringen	1786,5 „ = 85,01 %
	—345,1 kg = —14,99 %

Wärmeeinnahme.

Vom Möller eingebrachte Wärme:

Siegerländer Rost I	= 518,7 × 0,1560	= 80,9	W.E.
„ „ II	= 518,0 × 0,1560	= 80,8	„
„ Spat	= 566,2 × 0,1560	= 88,3	„
Manganerz	= 320,7 × 0,1560	= 50,0	„
Kalk	= 402,7 × 0,2099	= 84,5	„
Koks	= 1297,0 × 0,2030	= 263,2	„
Wascheisen	= 26,9 × 0,1100	= 2,9	„
		650,6	W.E.

Bei einer mittleren Temperatur von 20,3° C. ist die Eigenwärme: 650,6 × 20,3 = 13207,1 W.E.

Die vom Winde mitgebrachte Wärme:

Mittlere Windtemperatur = 773° C., Windmenge 4395,0 m^3.

3472,1 m^3 N	= 4363,3 kg N	= 1117,0	
922,9 „ O	= 1320,0 „ O	= 278,6	
	1395,6 × 773	= 1 078 798,8	W.E.

dazu kommt der Wärmeinhalt der Luftfeuchtigkeit mit

102,1 × 636	=	64 954,6 W.E.
102,1 × 673 × 0,5706	=	39 276,3 „
Gesamte Wärmemenge	=	1 183 029,7 W.E.

Durch Kohlenstoffverbrennung entstandene Wärme:

aus CO_2	= 375,4 m^3	diese enthalten	201,1	kg	C
„ CO	= 1737,7 „	„ „	931,3	„	„
„ CH_4	= 47,0 „	„ „	25,1	„	„

Der Möller brachte mit 374,9 kg CO_2 = 102,3 kg C., so daß tatsächlich 98,9 kg C zu Kohlensäure verbrannt sind.

Die auftretende Wärmetönung ist dann:

98,9	× 8080	= 798 304,0	W.E.
931,3	× 2473	= 2303 104,0	„
25,1	× 1812	= 45 481,2	„
1055,3 kg C		= 3146 889,2	W.E.

Wärmeausgabe.

Wärmeverbrauch zur Reduktion von:

1)	Fe_3O_4 . .	15,0	× 1193	=	17 895,0	W.E.
2)	Fe_2O_3 . .	699,8	× 1260	=	881 738,0	„
3)	Fe O. . .	238,2	× 1053	=	250 024,6	„
4)	SiO_2 . .	41,5	× 3680	=	152 720,0	„
5)	Cu O . .	1,3	× 256	=	327,7	„
6)	P_2O_5 . .	2,3	× 2732	=	6 283,6	„
7)	H_2O . .	102,1	× 3194	=	326 202,2	„

8) Mn-Oxyde

MnO_2	243,4	= 346 040,0	W.E.
Mn_3O_4	141,0	= 199 955,0	„
Mn O	55,2	= 73 871,0	„
		619 866,0	W.E.

In Abzug zu bringen sind:

aus Staub	Mn_3O_4	6,3 = 8 865,0	W.E.
„ Schlacke	Mn O	88,9 = 119 024,0	„
		127 889,0	W.E.

Gesamte Wärmemenge für Mn-Oxyde 491 977,0 W.E. = 491 977,0 W.E.

9) Wärmeabfuhr durch:

Gichtgase	CO_2	742,5	× 0,2460	=	182,6	„
	CO	2181,6	× 0,2546	=	555,4	„
	CH_4	33,7	× 0,6226	=	20,9	„
	H	6,3	× 3,5795	=	22,5	„
	N	4500,6	× 0,2560	=	1152,1	„
					1933,5	W.E.

Bei einer Gichttemperatur von 395° C. beträgt die Wärmemenge: 1933,5 × 395 = 763 732,5 W.E.

10) Roheisen:

Der Wärmeinhalt betrug 288 W.E. pro 1 kg

288 × 1000 . . . . . = 288 000,0 W.E.

11) Schlacke:

Der Wärmeinhalt betrug 436 W.E. pro 1 kg

733,9 × 436 . . . . . = 319 980,0 W.E.

12) Staub. 49,3 × 0,17 × 395 . . . . . = 33 104,0 „

13) Wärmeverbrauch für: Ca S-Bildung 41,2×1150 = 47 380,0 „

14) H_2 O-Verdampfung 189,2 × 636 = 120 331,2

189,2 × 295 × 0,4989 . . . . = 29 447,4

149 778,6 = 149 778,6 „

15) CO_2-Austreibung.

Kohlensäure ist gebunden an:

Eisen: 149,2 × 342 . . . . . = 51 016,4 W.E.

Mangan: 31,7 × 342 . . . . . = 10 841,1 „

Kalk: 176,5 × 1016 . . . . . = 179 324,0 „

Magnesia: 17,5 × 729 . . . . . = 12 757,5 „

253 939,3 W.E.

Wärmebilanz.

Einnahmen.

Möller	= 13 207,1	W.E. =	0,30 %
Wind	= 1 183 027,9	„ =	27,24 %
C-Verbrennung .	= 3 146 889,2	„ =	72,46 %
	4 343 126,0	W.E. =	100,00 %

Ausgaben.

					der Einnahme
Reduktion von	$Fe_3 O_4$. =	17 895,0	W.E. =	0,41 %	
„ „	$Fe_2 O_3$. =	881 738,0	„ =	20,30 %	„
„ „	Fe O . . =	250 024,6	„ =	5,76 %	„
„ der	Mn-Oxyde =	491 977,0	„ =	11,33 %	„
„ von	Si O_2 . . =	152 720,0	„ =	3,52 %	„
„ „	Cu O . . =	327,7	„ =	0,01 %	„
„ „	$P_2 O_5$ . . =	6 283,6	„ =	0,14 %	„
„ „	H_2 O . . =	326 202,2	„ =	7,51 %	„
Ausgabe durch	S . . . =	47 380,0	„ =	1,09 %	„
„ „	Gas . . . =	763 732,5	„ =	17,58 %	„
„ „	Roheisen. =	288 000,0	„ =	6,36 %	„
„ „	Schlacke =	319 980,0	„ =	7,37 %	„
„ „	Staub . . =	33 104,0	„ =	0,76 %	„
„ „	H_2 O-Verd.=	149 778,6	„ =	3,45 %	„
„ „	CO_2-Austr.=	253 939,3	„ =	5,85 %	„
		3 983 082,5	W.E. =	91,71 %	der Einn.

Einnahmen	4 343 126,0 W.E.	=	100,00 %
Ausgaben	3 983 082,5 „	=	91,71 %
	— 360 043,5 W.E.	=	— 8,29 %

Auf Grund der durchgeführten Berechnung läßt sich sagen, daß der Koksbedarf für die Darstellung von Spiegeleisen mit zunehmender Manganreduktion wächst. Folglich erhöht sich auch der Windverbrauch, und die Menge des erzeugten Gases pro Tonne Roheisen nimmt in entsprechendem Maße zu. Die Manganverluste durch Verschlackung nehmen mit steigender Manganreduktion bezogen auf die eingebrachten Manganmengen ab, die Verluste durch Verflüchtigung dagegen nehmen zu, die Manganverluste durch Staub schwanken nur in geringem Maße.

In wärmetechnischer Hinsicht tritt bei allen Wärmebilanzen eine Differenz zwischen Ein- und Ausbringen von 7,34 % bis 9,24 % auf. Ich möchte diese Differenz den Wärmeverlusten durch Strahlung, sowie durch das Kühlwasser zur Last legen. Die durch Verbrennung von 1 kg C im Hochofen erzeugte Wärmemenge nimmt mit steigender Manganreduktion ab und berechnet sich im Mittel aus den vier Versuchen zu 3286,0 W.E.

Die Zahlen betreffs Möller- und Erzausbringen, sowie Kalkverbrauch und erzeugte Schlackenmengen sind natürlich spezifische Werte der jeweiligen Betriebsverhältnisse.

Die Ergebnisse sind in folgenden Tabellen zusammengestellt:

Es ergab sich für die Darstellung von 1000 kg Metall:

	Versuch I	Versuch II	Versuch III	Versuch IV
Koks (naß) . . . . . kg	1010,2	1112,7	1162,5	1357,0
„ (trocken) . . . . . „	912,0	1004,5	1054,7	1279,0
Kohlenstoff . . . . . „	801,6	882,9	927,1	1116,0
Schlacke . . . . . „	800,6	746,5	699,8	733,9
Staub . . . . . „	20,4	23,9	23,2	49,4
Gas . . . . . m^3	4278,8	4555,7	4741,0	5812,0
Wind . . . . . „	3170,1	3330,2	3448,2	4395,0
Ofeninhalt / Tagesproduktion . . . . „	3,29	3,88	3,78	3,99

Ferner ergab die Rechnung:

	Versuch I	Versuch II	Versuch III	Versuch IV
Gas pro 1 kg Koks . . . m^3	4,68	4,53	4,49	4,54
„ „ 1 „ Kohlenstoff „	5,33	5,15	5,11	5,20
1 m^3 Gas enthält C . . kg	0,20429	0,20955	0,20987	0,19921
1 kg C erzeugt W. E.-Menge	3616,4	3337,6	3210,2	2981,9
Wind pro 1 kg Koks . m^3	3,47	3,31	3,26	3,43
„ „ 1 „ C . . . „	3,95	3,77	3,71	3,93
Windverluste . . . . . %	11,4	7,2	16,7	14,1
Erzausbringen . . . . . „	44,14	47,37	46,63	48,58
Möllerausbringen . . . . „	36,94	39,31	39,95	40,60
Kalkzuschlag . . . . . „	19,49	17,01	19,39	19,65
Wärmeinhalt des Eisens W. E.	—	277	—	288
Wärmeinhalt der Schlacke W. E.	—	440	—	436

Stoffbilanzen.

a) Eisen.

	Einnahme	Ausgaben						Summe	%	Differenz	%
	kg	Roheisen kg	%	Schlacke kg	%	Staub kg	%	kg		kg	
Versuch I	916,5	885,8	96,65	9,1	0,99	7,2	0,78	902,1	98,42	— 14,4	— 1,58
„ II	846,6	829,1	97,93	4,8	0,57	8,9	1,05	842,8	99,55	— 3,1	— 0,45
„ III	846,8	801,2	94,60	3,4	0,40	8,7	1,00	813,3	96,00	— 33,5	— 4,00
„ IV	730,2	714,5	97,85	2,8	0,38	20,4	2,79	737,7	101,02	+ 7,5	+ 1,02

b) Mangan.

	Einnahme	Ausgaben								Differenz	%
	kg	Roheisen kg	%	Schlacke kg	%	Staub kg	%	Verflüchtigung kg	%	kg	
Versuch I	149,2	60,2	40,34	86,3	57,84	1,5	1,00	1,20	0,81	149,2	100,00
„ II	185,9	108,3	58,26	68,6	36,90	1,9	1,02	7,1	3,82	185,9	100,00
„ III	192,4	129,1	67,10	61,8	32,10	1,8	0,80	—	—	192,7	100,00
„ IV	299,4	203,2	67,86	68,9	23,02	4,5	1,50	22,8	7,62	299,4	100,00

c) Kohlenstoff.

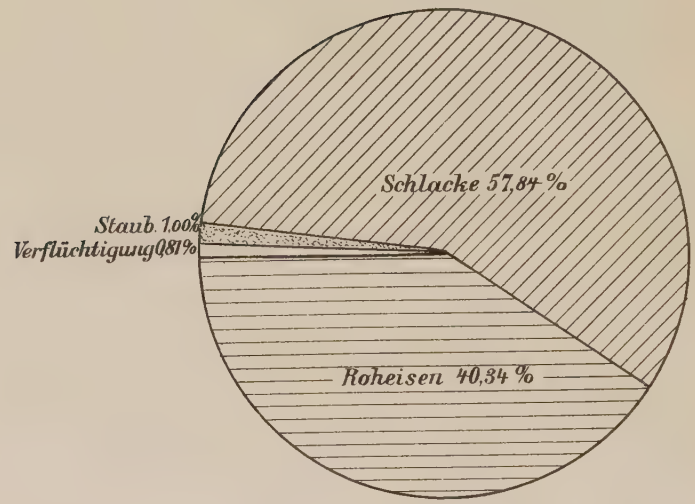
	Einnahme	Ausgaben						Summe	%	Differenz	%
	kg	Roheisen kg	%	Gas kg	%	Staub kg	%	kg		kg	
Versuch I	915,2	41,0	4,49	872,7	95,35	2,0	0,21	915,7	100,00	—	—
„ II	1005,1	48,0	4,77	954,4	94,98	2,5	0,25	1004,9	100,00	—	—
„ III	1051,7	49,9	4,75	994,8	94,58	2,7	0,26	1047,4	99,59	— 4,3	— 0,41
„ IV	1218,4	59,8	4,91	1157,5	95,00	2,0	0,16	1219,3	100,00	—	—

d) Sauerstoff.

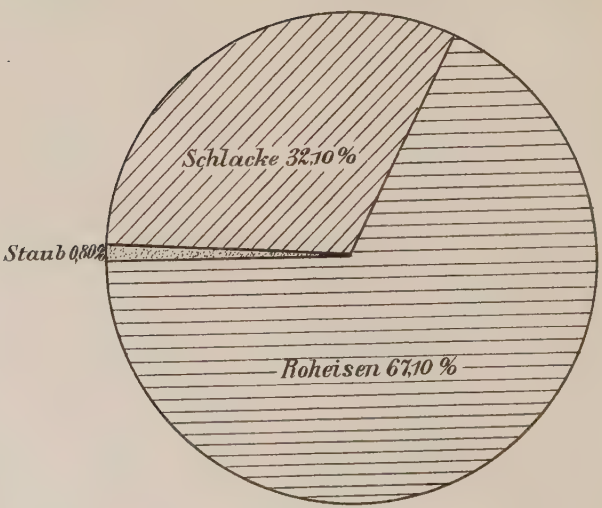
	Einnahme	Ausgabe	Differenz	%
	kg	kg	kg	
Versuch I	1694,0	1510,4	— 184,5	— 10,89
„ II	1731,6	1604,8	— 126,8	— 7,32
„ III	1905,1	1630,5	— 274,6	— 14,41
„ IV	2101,6	1786,5	— 345,1	— 14,99

Graphische Darstellung

Versuch I.

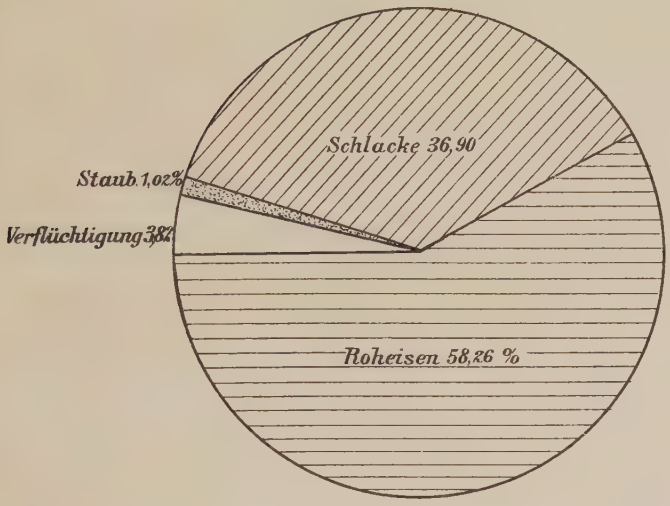


Versuch III.

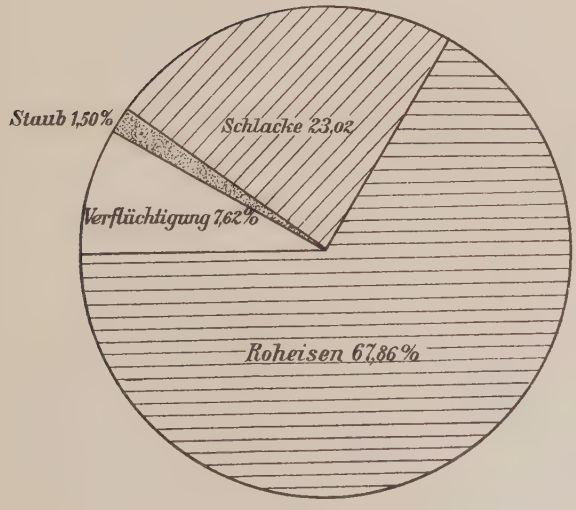


der Manganausgaben.

Versuch II.



Versuch IV.



Wärmebilanzen.

	Einnahme W. E.	Ausgabe W. E.	Differenz W. E.	%
Versuch I	3 539 614,0	3 258 667,9	— 280 946,1	— 7,94
„ II	3 631 721,0	3 296 101,4	— 335 619,6	— 9,24
„ III	3 747 827,0	3 471 531,6	— 276 295,4	— 7,37
„ IV	4 343 126,0	3 983 082,5	— 360 043,5	— 8,29

II. Teil.

Nachdem im Vorausgehenden die stofflichen, sowie wärmetechnischen Verhältnisse des Spiegeleisenhochofens für verschiedene Spiegeleisensorten durchgerechnet worden sind, sollen nunmehr auf Grund der experimentell ermittelten Daten über Koksverbrauch, Menge und Basizität der Schlacken und deren Zusammenhang mit dem Manganausbringen und der Verteilung der Manganverluste, sowie auf Grund der Menge der verhütteten sowie produzierten Materialien und deren chemischer Zusammensetzung, die Reduktionsverhältnisse und die Metallurgie des Spiegeleisenhochofens einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Die Ansicht einer „ausschließlich" direkten Reduktion des Mangans durch festen Kohlenstoff möchte ich nicht auf alle Fälle verallgemeinert wissen. Ich schließe mich der von Simmersbach ausgesprochenen Theorie an, daß die Frage der direkten oder indirekten Reduktion des Mangans lediglich eine Funktion der verhütteten Erze ist.

Zur Motivierung dieser Theorie will ich die Reduktionsverhältnisse bei meinen vier Versuchen einer näheren Kritik unterziehen und das von F. Wüst *) in Stahl und Eisen beschriebene „Verfahren zur Berechnung des zur direkten Reduktion im Hochofen verbrauchten Kohlenstoffs" zu Grunde legen.

*) Wüst, Stahl und Eisen 1911, S. 953.

Ich will annehmen, daß aller Windsauerstoff vor den Formen zu Kohlenoxyd verbrennt. Ferner sollen die Manganoxyde, der Phosphor, das Silicium sowie die Luftfeuchtigkeit direkt reduziert werden, also unter Kohlenoxydbildung. Die hierzu erforderlichen Kohlenstoffmengen kann ich mir berechnen. Die Menge des eingebrachten Kohlenstoffs, die in das Eisen, den Gichtstaub und das Methan des Gases gehenden Kohlenstoffmengen sind mit Ausnahme des letzteren experimentell ermittelt worden. Addiere ich die Kohlenstoffausgaben und stelle sie dem eingebrachten Kohlenstoff gegenüber, so muß für den Fall eines Kohlenstoffüberschusses dieser zur direkten Reduktion der Eisenoxyde verwandt worden sein. Zeigt sich aber ein Kohlenstoffmangel, so ist das der sichere Beweis, daß die Reduktionsverhältnisse zu Gunsten einer indirekten Reduktion anderer Oxyde — in diesem Falle Manganoxyde — zu verschieben sind.

Es sei nach Wüst:

A = Menge des durch Koks eingebrachten Kohlenstoffs,
B = C-Menge, die vor den Formen mit dem Gebläsesauerstoff zu CO verbrennt,
C = C-Menge zur Reduktion der Luftfeuchtigkeit,
D = C-Menge, die vom Eisen aufgenommen wird,
E = C-Menge, die im Methan enthalten ist,
F = C-Menge, zur direkten Reduktion von Phosphor, Silicium und Mangan,
G = C-Menge, die im Staub enthalten ist.

Dann muß sein:

$X = A - (B + C + D + E + F + G)$ = die Menge Kohlenstoff, die zur direkten Reduktion der Eisenoxyde verbraucht werden muß.

Wüst hat für seine Rechnung die Zahlenwerte aus Gillhausens Dissertation „Untersuchungen über die Stoff- und Wärmebilanz beim Hochofen" entnommen und kommt zu dem Resultat, daß etwa 6—10 % der gesamten C-Menge zur direkten Reduktion des Eisens verwandt wird.

Ich glaube nun, daß die Reduktionsverhältnisse im Hochofen durchaus nicht so einfach liegen, wie man allgemein annimmt. Der günstigste Fall, der nach dieser Berechnung überhaupt eintreten könnte, wäre der, daß alles Eisen indirekt reduziert würde, d. h. also: Es müßte sein

$$A = B + C + D + E + F + G, \text{ oder}$$
$$X = A - (B + C + D + E + F + G) = 0.$$

Wir werden nun sehen, daß in allen Fällen $A < B + C + D + E + F + G$ ist. Es ist dieses m. E. der sicherste Beweis, daß einer von den Werten B, C, D, E, F, G nicht richtig sein kann.

	I	II	III	IV	
A =	801,6	882,9	927,1	1116,5	kg
Die Windsauerstoffmenge betrug:					
	952,1	1000,3	1035,7	1320,0	„
Diese verlangen zur CO-Bildung an C:					
B =	714,0	750,2	776,4	990,0	„
Der eingeblasene Wasserdampf enthält an Sauerstoff:					
	40,5	32,5	50,6	90,6	„
Diese verlangen an C:					
C =	30,3	24,3	37,9	67,9	„
Das Eisen enthält:					
D =	41,0	48,0	49,9	59,8	„
Das Methan enthält:					
E =	16,0	16,5	19,3	28,9	„

Die Sauerstoffmengen der Phosphor- und Manganoxyde, sowie der reduzierten Siliciummenge betragen:

P_2O_5	0,6	0,5	0,6	1,2	kg
SiO_2	10,3	12,7	18,5	21,9	„
Mn-Oxyde	27,3	49,8	58,7	119,7	„
	38,2	63,0	77,8	142,8	kg
Diese verlangen an C:					
F =	28,6	47,2	58,3	107,1	„

Der Staub enthält:

G =	1,7	2,1	2,1	1,8 kg

Die Summe der Klammergröße beträgt dann:

B =	714,0	750,2	776,4	990,0
C =	30,3	24,3	37,9	67,9
D =	41,0	48,0	49,9	59,8
E =	16,0	16,5	19,3	28,9
F =	28,6	47,2	58,3	107,1
G =	1,7	2,1	2,1	1,8
Summe	831,6	888,3	943,9	1255,5
A =	801,6	882,9	927,1	1116,5
X =	— 30,0	— 5,4	— 16,8	— 139,0

Daß natürlich ein Hochofen nicht mit geringerem Kohlenstoffbedarf betrieben werden kann, als wie der theoretisch ermittelte beträgt, liegt klar auf der Hand. Offenbar kann der auftretende Kohlenstoffmangel als sicherer Beweis gelten, daß die Reduktionsverhältnisse anders liegen müssen.

Ich will zunächst einmal annehmen, daß alles Mangan indirekt reduziert sei. So wäre eine dem Sauerstoffgehalt der Manganoxyde entsprechende Kohlenstoffmenge in Abzug zu bringen. Der Sauerstoffgehalt der Manganoxyde beträgt:

27,3 49,8 58,7 119,7 kg

Diese verlangen:

20,5 37,3 44,0 89,7 „ C.

Für den Wert X erhielte man dann:

— 9,5 +31,8 +27,2 — 49,3 „ C.

Die sich jetzt noch zeigenden Kohlenstoffmängel in den Fällen 1 und 4 von — 1,1 % bezw. — 4,4 % des eingebrachten Kohlenstoffs möchte ich einzig und allein auf eine falsche Annahme der Werte C und E zurückführen. Leider war es mir nicht möglich, den CH_4-Gehalt der Gase, sowie den Feuchtigkeitsgehalt der Gebläseluft experimentell zu ermitteln, sie wurden als Mittelwerte unter Berücksichtigung der jeweiligen Verhältnisse angenommen.

Wenn man berücksichtigt, daß der Kohlenstoffbedarf für diese beiden Klammerwerte beträgt:

C =	30,3	24,3	37,9	67,9
E =	16,0	16,5	19,3	28,9
	46,3	40,8	57,2	96,8 kg,

so lassen sich ohne Bedenken diese kleinen Kohlenstoffmängel eliminieren.

Unser Klammerwert X geht also unter dieser Annahme und der Annahme einer indirekten Manganreduktion in den Fällen 1 und 4 praktisch in den Wert 0 über, d. h. alles Mangan ist auf dem Wege der indirekten Reduktion durch Kohlenoxyd reduziert worden. Im Falle 2, wo sich ein Kohlenstoffüberschuß von 31,9 kg, und im Falle 3, wo sich ein solcher von 27,2 kg ergibt, sind demnach 3,6 % resp. 2,9 % des eingebrachten Kohlenstoffs zur direkten Reduktion von Manganoxyden verbraucht worden.

Daß in diesen Fällen der Ofen nicht so ökonomisch arbeitete, wie in den beiden übrigen, ist eine betriebstechnische Erscheinung, wie sie beim Hochofenbetrieb nicht selten ist.

Ähnliche wie die hier ermittelten Kohlenstoff-Bedarfe beim Erblasen von Spiegeleisen dürften wohl für die Siegerländer Verhältnisse allgemein gelten. Sie erscheinen vielleicht im Vergleich zu anderen Betrieben etwas gering, doch möchte ich diese Koksersparnis von 1—200 kg pro t Roheisen lediglich auf die günstigen Reduktionsverhältnisse zurückführen.

Die Siegerländer Erze sind bekanntlich manganhaltige Spateisensteine. Ich möchte diese Spateisensteine als Doppelsalze des Eisen- und Mangankarbonates*) ansehen, von der hypothetischen Zusammensetzung $(Fe + Mn)\ CO_3$ oder auch $(Fe + Mn)\ C_2\ O_6$. Genau so wie der Dolomit ein Doppelsalz des Calcium- und Magnesiumkarbonates ist, sollen auch in den Spaten das Eisen- und Mangankarbonat Misch-

*) Siehe auch Friedrich, Stahl und Eisen 1911, S. 1909ff.

kristallbildung eingehen. Mischkristallbildung tritt jedesmal dann ein, wenn zwei Körper in festem Zustande ineinander löslich sind und kristallisieren. Wie weit und bis zu welchem Maße die Lösungsfähigkeit des Mangankarbonates in dem Eisenkarbonat und umgekehrt möglich ist, ist wohl schwer festzustellen. Jedenfalls glaube ich, daß die Erscheinung der Mischkristallbildung, die man bei anderen Kristallisationserscheinungen experimentell nachweisen kann, auch für die manganreichen Siegerländer Spate gültig ist.

Gelangen diese Spate zur Reduktion, sei es im rohen, sei es im gerösteten Zustande, so muß m. E. ganz bestimmt bei dem innigen Mischungsverhältnis der beiden Metalloxyde eine gleichzeitige Reduktion des Eisens und des Mangans eintreten. Natürlich muß man den Ofen so betreiben und die metallurgischen Verhältnisse derart gestalten, daß eine spätere Oxydation des Mangans und seine Überführung in die Schlacke vermieden wird.

Da wo man gezwungen ist, eisenreiche und manganarme Erze mit Manganerzen zu möllern, um die der Manganreduktion entsprechenden Mengen Mangan im Möller zu haben, wird eine zeitliche Differenz zwischen der Eisen- und Manganreduktion eintreten, und das Mangan wird von der gebildeten Schlacke aufgenommen werden, aus der es alsdann durch festen Kohlenstoff reduziert werden muß.

Die Metallurgie des Spiegeleisen-Hochofens.

Um die metallurgischen Vorgänge bei der Reduktion des Mangans im Hochofen näher zu charakterisieren, wurden die im I. Teile mitgeteilten Analysen über Schlacken, Eisen und Gichtgase, sowie Gicht- und Windtemperaturen zu Grunde gelegt. Bei dem I. Versuch habe ich jede einzelne Schlacke auf ihren Mangan-, Kalk- und Kieselsäuregehalt untersucht, doch habe ich mich bei den späteren Versuchen darauf beschränkt, von den täglich genommenen Proben eine genaue Durchschnittsprobe herzustellen und diese zur Analyse

zu bringen. Die gesamten Ergebnisse sind in nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Folgende Punkte sind es nun, die auf die Reduktion des Mangans beeinflussend wirken:

1. die Gichttemperatur,
2. die Beschaffenheit der Schlacke,
3. die Menge der Schlacke,
4. die Durchsetzzeit des Ofens.

1. Die Gichttemperatur.

Wenn ja auch die Gichttemperatur ein spezifisches Charakteristikum eines jeden Hochofens ist und in erster Linie von der Ofenhöhe abhängt, und zwar in dem Maße, daß sie bei niedrigen Öfen größer werden muß, als bei hohen Öfen unter der Voraussetzung der gleichen Arbeitsverhältnisse, so kann man doch die Beobachtung machen, daß ein Sinken der Gichttemperatur mit einem Sinken der Manganreduktion verbunden ist. Vergleichen wir die Zahl der ausgeführten Versuche, so stehen sich folgende Mittelwerte gegenüber:

Versuch	I.	6,02 %	Mn im Eisen.	205° C.	Gichttemperatur.
„	II.	10,83 %	„ „ „	247° „	„
„	III.	12,91 %	„ „ „	283° „	„
„	IV.	20,32 %	„ „ „	395° „	„

Es ist auch sehr natürlich, daß die Gichttemperatur mit zunehmender Manganreduktion steigen muß, denn die Reduktionswärme des Mangans liegt bedeutend höher als die des Eisens. Um nun den erforderlichen Wärmebedarf zu decken, ist man genötigt mit heißerem Wind zu blasen oder den Kokssatz pro Tonne gegichtetes Erz zu vergrößern. In der Praxis geschieht nach Möglichkeit beides. Die Folge ist, daß die aufsteigenden Gase heißer werden müssen, und da sie ihren Wärmeinhalt nicht so an die herabsinkende Beschickung abgeben können, wie beim Erblasen gewöhnlichen

Roheisens, muß naturgemäß eine starke Erhitzung der ganzen Beschickungssäule eintreten, was sich durch hohe Gichttemperatur bemerkbar macht. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß beim Erblasen von 20 % igem Spiegeleisen die letzte Koksgicht glühend war. Würde man durch Berieselung der Beschickung oder ähnliche Einrichtung dieser hohen Gichttemperatur entgegenarbeiten, so wäre das gerade entgegen dem Prinzip der Manganreduktion. Der Erfolg würde der sein, daß die Erze mit niedrigerer Temperatur und nicht genügend vorbereitet in den Schmelzraum gelangen. Das Mangan würde in die Schlacke gehen und aus dieser durch festen Kohlenstoff reduziert werden oder, da in diesem Falle nicht genügend Kohlenstoff vorhanden ist, einfach mit der Schlacke abgeführt werden. Der Erfolg dieser herabgesetzten Gichttemperatur wäre eine Erhöhung des Kokssatzes oder eine Verminderung des Erzsatzes, also ein negativer Erfolg. Das einzige Mittel, welches dem Hochofenmanne in diesem Falle zur Verfügung steht, ist eine Erhöhung des Ofens oder was dasselbe ist, eine Vergrößerung der Durchsetzzeit. Dieses ist ein Faktor rein technischer Natur, dessen Ausführbarkeit hier nicht in Frage kommt.

So kann die Gichttemperatur bei einer bestimmten Ofenhöhe einen Maßstab für die Manganreduktion bilden, und die Beobachtung der Gichttemperatur bietet eine wichtige Handhabe zur Beurteilung des Ofenganges.

„Solange die Gicht nicht eine bestimmte, den jeweiligen Verhältnissen entsprechende Temperatur erreicht hat, kann man sicher damit rechnen, daß die Manganreduktion nicht in dem gewünschten Maße erfolgt!“

2. Die Beschaffenheit der Schlacke.

Sowie überall in der Natur die richtigen Existenzbedingungen das Wesen alles Seins ausmachen, so bildet bei der Darstellung von Eisen-Mangan-Legierungen im Hochofen der Charakter der entstehenden Schlacke gewissermaßen

das Lebenselement, den Hauptfaktor zur Reduktion des Mangans.

Manganreiche Eisensorten müssen neben Mangan und Kohlenstoff möglichst wenig Silicium und Phosphor enthalten. Nun bildet das Mangan in seinen Sauerstoffverbindungen im allgemeinen Körper basischer Natur. Also wird die Gegenwart einer basischen Schlacke die Reduktion des Mangans begünstigen und umgekehrt die Aufnahme von Manganoxydul erschweren. Als Hauptsatz der Manganreduktion ergibt sich folgende These:

„Notwendig für die Spiegeleisendarstellung ist die Gegenwart einer kalkreichen, basischen Schlacke". Jedoch darf man bei dieser These nicht ins Extreme geraten und alles mit Kalk erreichen wollen. L e d e b u r weist in seinem Handbuch der Eisenhüttenkunde darauf hin, daß die Gegenwart eines gewissen Mangangehaltes erforderlich sei. „Ohne die", so heißt es dort, „erfolgt halbiertes oder graues Eisen." Ich möchte jedoch glauben, daß dieses nicht allein der Grund ist. Betrachten wir einmal den Einfluß eines Manganoxydulgehaltes auf die Viskosität von Kalksilikaten, so finden wir, daß je größer die Basizität der Schlacke ist, um so höher ihr Mangangehalt sein muß, um sie einigermaßen leichtschmelzig zu haben. Die Reduktion des Mangans über eine gewisse Grenze hinaus wäre wohl technisch möglich, doch wäre dazu eine derartig kalkreiche Schlacke erforderlich, daß sich unbedingt Schwierigkeiten im Ofenbetriebe einstellen würden.

Untersuchen wir daraufhin einmal unsere Schlacken, so finden wir, daß mit dem Maße der Manganreduktion die Silicierungsstufe sinkt, d. h. also die Basizität zunimmt:

Versuch	I.	6,02 %	Mn	im	Eisen.	0,968	Silikat
„	II.	10,83 %	„	„	„	0,889	„
„	III.	12,91 %	„	„	„	0,873	„
„	IV.	20,32 %	„	„	„	0,800	„

Versuch I.

Datum	Tages-produktion	% Mn	kg Mn	Schlacken-			
				Fe O	Mn O	Ca O	$Si O_2$
11./3.	9 600	6,49	632,1	—	—	—	—
	15 300	5,54	648,2	—	11,58	32,00	35,60
	14 500	5,82	843,9	—	13,88	32,36	36,40
	15 000	6,00	900,0	—	15,15	32,10	36,00
	13 500	6,39	862,6	—	14,64	33,50	35,50
	13 000	5,80	754,0	—	13,61	34,95	35,80
	6 000	6,56	393,6	—	11,71	38,88	36,60
	86 900	6,01	5225,4	1,11	13,77	32,97	36,10
12./3.	9 100	6,56	596,9	—	11,71	38,88	36,60
	13 600	5,90	801,5	—	15,60	34,18	36,90
	13 100	6,56	859,4	—	12,61	35,50	37,90
	15 100	6,37	963,9	—	19,96	24,84	37,90
	15 000	6,91	1036,5	—	12,78	35,74	38,60
	10 700	5,92	633,4	—	12,56	36,28	36,40
	76 600	6,38	4890,7	1,67	14,13	31,41	37,30
13./3.	6 400	5,92	378,8	—	12,56	36,28	36,40
	16 700	5,26	878,4	—	12,02	37,86	35,60
	12 000	5,00	600,0	—	11,86	37,94	35,00
	35 100	5,42	1857,2	1,31	13,86	34,11	35,85
Mittel:	198 600	6,02	11973,3	1,46	13,92	32,83	36,41

Versuch II.

13./3.	56 700	7,82	4435,5	—	—	—	—
14./3.	71 900	10,85	7802,7	1,26	13,28	33,87	35,30
15./3.	71 100	12,34	8781,8	0,77	14,01	35,85	34,65
16./3.	3 980	12,86	4923,5	0,52	8,29	38,79	35,30
Mittel:	239 500	10,83	25942,5	0,85	11,86	36,13	35,08

analyse			Wind-temp.	Gicht-temp.	Gasanalyse					$\frac{CO_2}{CO}$	Silicierungsstufe
Mg O	Al_2O_3	S	°C.	°C.	CO_2	CO	H	CH_4	N		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,77	7,16	1,64	717	204	11,6	25,2	1,8	—	—	0,46	1,00
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,94	8,82	1,85	749	215	11,8	26,2	1,6	—	—	0,45	1,00
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,01	8,14	1,98	728	190	12,2	25,6	1,1	—	—	0,47	0,906
7,90	8,04	1,82	731	205	11,8	25,6	1,5	0,70	60,4	0,46	0,968
—	—	—	760	221	12,0	26,6	1,7	—	—	0,511	—
7,09	10,60	1,99	749	220	10,4 10,6	27,8 27,2	0,9 1,6	—	—	0,374 0,389	0,906
8,10	9,93	1,89	780	269	10,4 10,2	27,2 27,8	1,9 1,3	—	—	0,382 0,367	0,860
8,42	9,41	2,38	847	278	9,0 9,8	29,4 30,6	0,9 1,1	—	—	0,306 0,320	0,901
8,26	9,76	2,13	762	247	10,34	28,08	1,37	0,68	59,53	0,368	0,889

Versuch III.

Datum	Tages-produktion	% Mn	kg Mn	Schlacken-			
				Fe O	Mn O	Ca O	$Si O_2$
16./3.	30 600	11,48	3 515,5	—	—	—	—
17./3.	77 000	12,24	9 428,1	0,52	10,57	36,84	36,05
18./3.	71 700	12,38	8 880,5	0,61	11,49	37,14	36,15
19./3.	79 300	12,80	10 154,0	0,38	12,66	35,55	34,05
20./3.	77 200	12,82	9 901,9	0,30	10,99	38,55	33,50
21./3.	75 300	13,58	10 230,6	0,30	12,12	36,36	36,36
22./3.	68 400	13,35	9 133,6	0,38	11,49	36,15	35,05
23./3.	70 900	13,31	9 438,9	0,69	11,68	36,45	34,80
24./3.	68 100	13,24	9 003,5	0,61	9,94	36,15	34,65
25./3.	21 600	13,64	2 947,8	0,52	9,09	39,39	33,90
Mittel:	640 100	12,91	82 634,4	0,47	11,40	36,96	74,83

Versuch IV.

18./6.	72 100	16,94	12 215,9	0,45	9,94	38,52	34,71
19./6.	61 000	22,66	13 826,4	0,51	11,74	37,20	34,50
20./6.	62 500	23,22	14 516,4	0,38	9,80	37,52	34,40
21./6.	65 000	22,49	14 619,5	0,32	10,72	38,22	32,53
22./6.	63 100	20,40	12 877,9	0,23	12,96	34,68	33,48
23./6.	66 800	19,58	13 083,8	0,39	13,77	34,92	33,55
24./6.	72 800	19,39	14 120,2	0,32	12,48	35,43	34,35
25./6.	73 300	19,86	14 562,6	0,39	14,31	35,75	34,20
26./6.	73 200	21,31	15 599,5	0,27	14,57	36,25	34,25
27./6.	74 700	19,18	14 332,7	0,52	11,68	36,54	34,50
28./6.	72 100	19,48	14 047,4	—	—	—	—
Mittel:	756 600	20,32	153 802,3	0,49	12,13	36,50	34,05

analyse			Wind-temp.	Gicht-temp.	Gasanalyse					$\frac{CO_2}{CO}$	Silicierungsstufe
Mg O	Al_2O_3	S	° C.	° C.	CO_2	CO	H	CH_4	N		
—	—	—	805	283	10,8	27,6	1,50	—	—	0,391	—
8,70	9,56	2,22	800	281	9,6	27,6	1,82	—	—	0,347	0,915
6,86	11,25	2,24	815	267	9,4	28,6	1,98	—	—	0,328	0,901
			800	272	10,0	28,6	1,81			0,349	
9,83	10,38	2,24	820	277	10,6	29,0	1,76	—	—	0,365	0,870
9,50	8,93	2,28	800	275	11,0	29,6	2,11	—	—	0,371	0,828
			765	252	10,4	29,6	1,66			0,351	
10,37	8,33	2,32	800	295	7,6	28,6	1,55	—	—	0,267	0,911
			790	289	10,0	32,0	1,70			0,312	
9,50	9,62	2,44	800	300	9,0	28,4	1,59	—	—	0,316	0,876
			800	297	8,2	32,0	1,70			0,245	
8,97	9,88	2,20	832	293	8,9	28,7	1,21	—	—	0,310	0,865
			800	295	9,0	27,8	1,12			0,323	
9,66	10,33	2,36	825	293	10,2	27,7	1,86	—	—	0,368	0,862
			810	277	9,1	28,1	1,37			0,324	
9,27	9,69	2,24	803	284	9,6	28,4	1,45	—	—	0,338	0,853
9,20	9,77	2,28	805	283	9,5	28,9	1,62	0,76	59,22	0,329	0,873
			746	—	—	—	—	—	—	—	—
7,44	10,36	1,94	768	350	8,8	29,2	1,40	—	—	0,301	0,872
7,56	10,43	1,62	793	360	6,6	29,2	1,00	—	—	0,226	0,862
			797	370	6,2	30,4	0,90			0,205	
7,79	10,43	1,84	—	430	6,6	32,0	1,60	—	—	0,187	0,852
10,35	11,05	2,06	—	450	6,0	30,0	0,70	—	—	0,200	0,764
12,57	11,00	1,64	790	440	4,8	31,2	1,40	—	—	0,133	0,774
			763	430	5,4	28,6	1,30			0,159	
13,18	11,56	1,68	798	415	6,2	28,8	1,20	—	—	0,215	0,749
			773	440	5,8	30,8	1,10			0,187	
11,69	11,50	1,62	762	385	6,0	21,6	1,20	—	—	0,217	0,793
12,90	11,48	2,02	764	385	7,2	31,0	1,20	—	—	0,227	0,770
12,30	11,31	1,93	767	420	6,0	33,2	1,00	—	—	0,180	0,763
10,53	11,34	1,95	782	395	7,4	32,6	1,20	—	—	0,220	0,801
			785	360	6,6	30,6	1,30			0,218	
				350	6,8	30,2	1,40			0,225	
—	—	—	—	345	7,6	30,2	1,30	—	—	0,251	—
10,53	11,15	1,93	773	395	6,6	29,9	1,21	0,81	61,62	0,222	0,800

Gleichzeitig sehen wir, wie der Mangangehalt der Schlacke sich nur wenig ändert:

Versuch	I.	13,92 %	Mn O	=	10,79 % Mn
„	II.	11,86 %	„	=	9,19 % „
„	III.	11,40 %	„	=	8,84 % „
„	IV.	12,13 %	„	=	9,40 % „

Der auf Grund früherer Literaturangaben vertretenen Ansicht, daß umsomehr Mangan prozentual in der Schlacke enthalten sei, je höher der Mangangehalt des Eisens ist, möchte ich mich ohne weiteres nicht anschließen. Ich habe die Beobachtung machen können, daß der Mangangehalt stets zwischen 9—10 % schwankt. Selbst bei Ferromanganhochöfen mit Betrieb auf 80 %igem Ferromangan steigt der Mangangehalt der Schlacke bei richtiger Wahl der Erze nicht wesentlich höher. Nach Simmersbach*) enthalten solche Schlacken etwa 10—13 % Mangan, können allerdings je nach den Betriebsverhältnissen bis zu 20 % Mangan enthalten.

Bezüglich der Basizität der Schlacke läßt sich behaupten, daß der Kalkgehalt der Schlacke derart sein muß, daß sie keine freie Kieselsäure mehr enthält. Alle Kieselsäure muß an Kalk resp. Magnesia als Calcium- und Magnesium-Silikat gebunden sein. Sobald nämlich freie, ungebundene Kieselsäure zugegen ist, wird sie sofort Mangan- und Eisen-Silikat bilden.

Soll nun in solchem Falle die Reduktion des Mangans erfolgen, so muß Mangan-Silikat zersetzt werden, was nur mittels festem Kohlenstoff gelingt, und gleichzeitig wird mit dem Mangan Silicium reduziert werden. Solcher Betrieb wird hohen Koksverbrauch aufweisen, und gleichzeitig wird er minderwertiges, stark siliciumhaltiges Material liefern.

Ich denke mir die Reduktionsvorgänge in solchem Manganhochofen etwa folgendermaßen:

Die Siegerländer Eisenerze enthalten alle neben dem schon besagten Eisen- und Mangankarbonat 2—3 % Ca O

*) Simmersbach, Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1905, S. 307.

und ebensoviel Mg O. Der Tonerdegehalt schwankt, doch beträgt er im Mittel 3—4 %, der Kieselsäuregehalt 10—12 %. Diese Erze werden nun, infolge des innigen Gemisches schlackenbildender Bestandteile und bei dem heißen Ofengang verhältnismäßig früh zusammensintern. Die auf diese Weise sehr früh eintretende Verschlackung der Metalle unter Bildung von Eisen- und Mangansilikat ist nun scheinbar ein Nachteil. Doch kann meines Erachtens infolge der früheren Sinterung der Erze der Zuschlagkalk früher und damit länger seine Wirkung ausüben. Er wird sofort mit dem Sinterungsprodukt in Reaktion treten, sich mit der Kieselsäure des Eisen- und Mangan-Silikates verbinden und so das Fe O und Mn O frei machen, gewissermaßen ausfällen. Dadurch daß dieses „Ausfällen" des Fe O und Mn O schon in den oberen Partien des Ofens geschieht, werden beide der indirekten Reduktion durch CO zugänglich gemacht. Naturgemäß wird das Eisen in größerem Maße frei werden als das Manganoxydul, weil das Manganoxydul als stärkere Base intensiver mit der Kieselsäure reagieren wird. Welches Silikat der Kalk und die Magnesia bilden werden, ob Meta- oder Ortho-Silikat läßt sich wohl schwer entscheiden. Vermutlich findet Meta-Silikat-Bildung statt. Versuche, mittels thermischer Analyse Aufschluß über die Konstitution der Schlacken zu erhalten, lieferten keine Resultate.

Wenn ja auch vielfach die Schlacken als feste Lösungen von Metall- und Nichtmetalloxyden angesprochen werden, so glaube ich doch, daß unbedingt eine Reaktion zwischen Säure und Base eintritt. Vermutlich werden die Reaktionen nicht derartig exakt und genau, wie auf dem Papier verlaufen, denn die Menge der beeinflussenden Momente und die Anzahl der Reaktionen, die nebeneinander und ineinander laufen, ist zu groß und wechselt sekundlich. Sodann entziehen sich all diese Vorgänge im Hochofen der subjektiven Beobachtung, und nur die Endprodukte und die Beobachtung einiger äußerer Merkmale lassen hypothetische Rückschlüsse zu.

Sauerstoffverhältnisse.

Sauerstoffmengen aus:	Versuch I			Versuch II			Versuch III				
	11./3.	12./3.	13./3.	14./3.	15./3.	16./3.	17./3.	18./3.	19./3.	20./3.	21./3.
Fe O	0,24	0,37	0,32	0,27	0,17	0,11	0,11	0,13	0,08	0,08	0,08
Mn O	3,05	3,13	3,09	2,94	3,11	1,84	2,34	2,55	2,81	2,43	2,69
Ca O	9,39	8,95	9,35	9,65	10,21	11,05	10,49	10,58	10,13	10,98	10,36
Mg O	3,04	3,11	3,13	2,77	3,17	3,30	3,41	2,68	3,85	3,72	4,06
$Al_2 O_3$	3,35	4,13	3,81	4,97	4,65	4,41	4,48	5,27	4,86	4,18	3,90
Summe	19,07	19,69	19,70	20,60	21,31	20,71	20,83	21,21	21,73	21,39	21,09
$Si O_2$	19,09	19,73	18,96	18,67	18,33	18,67	19,07	19,12	18,01	17,72	19,23
Silicierung	1,00	1,00	0,906	0,906	0,860	0,901	0,915	0,901	0,870	0,828	0,911
$\frac{Si O_2 - O}{Ca O - O}$	2,00	2,20	2,10	1,93	1,80	1,68	1,81	1,80	1,77	1,61	1,85
Mn — O in % der Busicität	15,99	15,94	15,68	14,27	14,59	8,88	11,23	12,02	12,93	11,36	12,75

Es läßt sich sicher behaupten, daß die Basizität der erzeugten Schlacke sich der eines 0,8—1,00 Silikates nähern muß, und daß das Verhältnis des Sauerstoffs der Kieselsäure zu dem des Calciumoxydes etwa 1,7—2,0 betragen muß. Der Prozentsatz des Manganoxydulsauerstoffs an der Basizität der Schlacke schwankt zwischen 10—15 % und nimmt im allgemeinen mit wachsender Basizität der Schlacke und steigender Manganreduktion ab. In vorstehender Tabelle sind die Sauerstoffverhältnisse der einzelnen Schlacken zusammengestellt.

Daß die Manganverluste durch Verschlackung in erster Linie von dem Verhältnis der Kieselsäure zum Calciumoxyd beeinflußt werden, zeigen die Schlackenanalysen. Sobald der Kieselsäuregehalt steigt, ohne daß der Kalkgehalt Schritt hält, wird die Basizität zu Ungunsten der Manganreduktion verschoben, und es wird sofort eine größere Menge Mangan in die Schlacke abgeführt.

				Versuch IV									
22./3.	23./3.	24./3.	25./3.	18./6.	19./6.	20./6.	21./6.	22./6.	23./6.	24./6.	25./6.	26./6.	27./6.
0,08	0,15	0,13	0,11	0,11	0,11	0,08	0,07	0,05	0,08	0,07	0,08	0,05	0,11
2,55	2,59	2,20	2,01	2,20	2,60	2,17	2,37	2,87	3,05	2,77	3,17	3,23	2,59
10,30	10,38	10,30	11,22	10,97	10,60	10,69	10,89	9,88	9,95	10,09	10,18	10,33	10,41
3,72	3,51	3,78	3,63	2,91	2,96	3,05	4,05	4,92	5,16	4,58	4,66	4,82	4,12
4,51	4,63	4,84	4,54	4,85	4,89	5,36	5,18	5,15	5,42	5,39	5,38	5,30	5,31
21,16	21,26	21,25	21,51	21,04	21,16	21,35	22,56	22,87	23,66	22,90	23,47	23,73	22,53
18,54	18,40	18,32	17,93	18,36	18,25	18,19	17,20	17,71	17,74	18,17	18,09	18,11	18,25
0,876	0,865	0,862	0,833	0,872	0,862	0,852	0,764	0,774	0,749	0,793	0,770	0,763	0,801
1,80	1,77	1,77	1,60	1,67	1,72	1,70	1,57	1,79	1,78	1,80	1,77	1,75	1,75
12,05	12,18	10,82	9,34	10,45	11,81	10,11	10,50	12,11	12,89	12,27	13,46	13,61	11,49

Versuch	I.	11,58 %	Mn O	32,00 %	Ca O	35,60 %	Si O_2
		14,13 %	,,	31,41 %	,,	37,30 %	,,
		19,96 %	,,	24,84 %	,,	38,60 %	,,
,,	II.	8,29 %	,,	38,79 %	,,	35,30 %	,,
		13,28 %	,,	33,87 %	,,	35,30 %	,,
,,	III.	12,66 %	,,	35,55 %	,,	34,05 %	,,
		10,99 %	,,	38,55 %	,,	33,50 %	,,
		12,12 %	,,	36,36 %	,,	36,36 %	,,
,,	IV.	9,94 %	,,	38,52 %	,,	34,17 %	,,
		11,74 %	,,	37,20 %	,,	34,50 %	,,
		12,96 %	,,	34,68 %	,,	33,48 %	,,

Natürlich trifft das nicht in allen Fällen genau zu, es kommen eben so viele Nebenumstände, wie Schwankungen der Windtemperatur, unregelmäßiges Ziehen der Gichten, Schwankungen in der Zusammensetzung der Rohmaterialien etc., in Betracht. Doch läßt sich im allgemeinen obige Behauptung aufstellen.

Wie sehr die Zusammensetzung der fallenden Schlacke sich ändern kann, mögen folgende Zahlen beweisen:

Zeit der Probenahme	Fe	Mn	Ca O	Si O_2
Beim Öffnen der Schlackenform . . .	0,25	5,10	41,34	35,30
2 Stunden später	0,21	10,23	38,61	35,14
4 „ „	0,43	10,39	37,44	34,60
6 „ „ (Abstichschlacke) . .	0,87	8,85	34,71	36,60

Auch hier wird, mit Ausnahme des letzten Falles, die Manganreduktion durch abnehmende Basizität ungünstig beeinflußt. Auffallend ist der hohe Ca O-Gehalt der Schlacke beim Öffnen der Schlackenform. Es ist jedoch eine bekannte Tatsache, die man bei jedem Abstich beobachten kann, daß die erste ablaufende Schlacke „kürzer", d. h. kalkreicher ist als die spätere. Ich möchte diese Erscheinung folgendermaßen motivieren:

Nach erfolgtem Abstich sinkt die ganze Beschickungssäule bis unter die Formebene in den Eisenkasten hinein. Beim nachfolgenden Blasen muß nun das herabsinkende Metall sowie die Schlacke durch die unten sich befindenden Massen hindurchsickern, wodurch eine weitgehende Verschlackung unter Bildung von Eisen- und Mangansilikaten eintreten wird. Diese steigen auf dem Bade schwimmend empor und werden vor den Formen reduziert, wodurch größere Mengen Silicium mitreduziert werden. In dem Maße nun, wie unreduziertes Mn O und Fe O von oben herabsinkt und von der Schlacke aufgenommen wird, werden die Reaktionen

$$2\ Mn\ O + Si = Si\ O_2 + 2\ Mn$$
$$2\ Fe\ O + Si = Si\ O_2 + 2\ Fe$$

vor sich gehen, wodurch der Schlacke größere Kieselsäuremengen wieder zugeführt werden. So wird die Basizität der Schlacke verringert, und es werden von ihr größere Mengen Fe O aufgenommen. Auf diese Weise vergrößert sich die Schlackenmenge, es tritt eine Verdünnung des Kalkgehaltes

sein, so daß der prozentuale Ca O-Gehalt abnehmen muß, während Kieselsäure- und Metalloxydulgehalte größer werden.

Die in Ledeburs Handbuch der Eisenhüttenkunde gemachte Mitteilung, daß ein Tonerdegehalt der Schlacke infolge des bei der stark basischen Schlacke saueren Charakters der Tonerde die Manganreduktion ungünstig beeinflussen müsse, will ich nach einer anderen Richtung deuten. Es ist für jeden Spiegeleisen-Darsteller eine bekannte Tatsache, daß bei Verhüttung tonerdehaltiger Erze die Manganreduktion günstiger wird. Die Erklärung hierfür suche ich in der im Folgenden näher zu erörternden Menge der Schlacke.

3. Die Schlackenmenge.

Die pro Tonne erblasenes Metall produzierte Schlackenmenge ist eine Funktion der schlackenbildenden Bestandteile der verhütteten Erze; schlackenbildend sind die Kieselsäure, der Kalk, das Magnesia, die Tonerde, teilweise auch Eisen, Mangan und Schwefel. Wie aus den Analysen ersichtlich, gelingt die Reduktion des Eisens praktisch vollständig, dagegen muß die Schlacke aus schon erörterten Gründen stets eine gewisse Menge Manganoxydul enthalten. Dieses ist der Grund, weshalb die Menge der Schlacke das Manganausbringen beeinflußt. Das Verhältnis der Kieselsäure zum Kalkgehalt der Schlacke bleibt ungefähr konstant, desgleichen ihr Mn O Gehalt. Es gilt also:

$$Si\,O_2 : Ca\,O = \text{const.}\ (K).$$

Steigt nun der Kieselsäuregehalt der Erze um die Menge A, so muß der Ca O-Gehalt der Schlacke um den Wert A_1 steigen oder die Schlackenmenge wächst um die Menge $A + A_1$. Ist k_1 der prozentuale Mn O-Gehalt der Schlacke, so wird der Manganverlust durch Verschlackung steigen um den Wert

$$\frac{(A + A_1) \times K_1}{100}.$$

So ergibt sich bei der Darstellung manganreicher Eisensorten die These: „Es ist mit möglichst geringer Schlacken-

menge zu arbeiten, um möglichst weitgehende Manganreduktion zu erzielen!"

Hierauf wies Hollmann *) auch hin. Es sind demnach möglichst rückstandarme Erze zu verwenden.

Hierin suche ich auch den Grund für den günstigen Einfluß eines Tonerdegehaltes der Erze. Je höher der Tonerdegehalt eines Erzes, desto niedriger im allgemeinen sein Kieselsäuregehalt. Nun verlangt die Tonerde zur Verschlackung keinen Zuschlagkalk. Folglich muß die Schackenmenge eine geringere werden, wodurch auch die Verluste infolge Verschlackung herabgesetzt werden.

Noch ein Umstand zwingt bei der Manganreduktion zur Notwendigkeit einer möglichst geringen Schlackenmenge. Es sind dieses die relativen Gewichtsmengen, die bei der Durchführung gewisser Reaktionen zugegen sind. Ich behaupte, daß, genau so wie beim basischen Herdofenprozeß, ein ständiges Wechselspiel zwischen Schlacken- und Metallbad stattfindet, nur mit dem Unterschiede, daß es sich beim Martinofen um Oxydationsvorgänge handelt, während beim Hochofenprozeß Reduktionsvorgänge stattfinden. Nun ist es ohne weiteres klar, daß diejenige Reaktion, welche die geringste chemische Arbeit verlangt, bis zu der geringsten Konzentration verlaufen wird, wenn die übrigen Reaktionen schon nicht mehr möglich sind. Umgekehrt aber, ist die Konzentration eines schwer zu reduzierenden Körpers in großem Übermaße vertreten, so wird diese Reaktion gleichzeitig mit den übrigen verlaufen. Die hier in Frage kommenden Reaktionen sind die bekannten Hochofen-Reaktionen. Die Reduktion des Eisens gelingt fast vollständig, weil einmal die Reduktion des Eisens die geringste chemische Arbeit verlangt, dann aber würde, sobald größere Mengen Fe O von der Schlacke aufgenommen wären, was z. B. infolge Temperaturerniedrigung im Schmelzraum geschehen kann, sofort die

*) Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1906, S. 167.

Reaktion $FeO + Mn = MnO + Fe$ einsetzen und das Eisen auf Kosten des Mangans dem Metallbade zugeführt werden.

Ist andererseits die Schlackenmenge sehr groß, so daß die Konzentration der Kieselsäure vorherrschend ist, so ist es nicht zu vermeiden, daß die Reduktion des Siliciums neben der der übrigen Metalle verläuft. Es gilt deshalb hier der Satz: „Die Reduktionsneigung steigt mit der Konzentration der im Metallbade und in der Schlacke aufeinander einwirkenden Stoffe!"

Wollte man beispielsweise Spiegeleisen aus Roteisenstein mit dem nötigen Manganerzzusatz erblasen, so würde man zunächst einmal hohe Manganverluste durch Verschlackung erzielen, dann aber würden wegen der großen Schlackenmenge und der damit verbundenen hohen Silicium-Konzentration erhebliche Mengen Silicium reduziert werden, so daß das fallende Eisen stark siliciumhaltig würde. Umgekehrt aber soll man sich davor hütten, manganarmes Eisen aus manganreichen Spaten zu erblasen. Die Schlackenmenge wird zu gering, um die notwendige Verschlackung des Mangans zu erzielen. Geht man mit der Temperatur herunter durch Verwendung kalten Windes, so wird gleichzeitig mit dem Mangan teilweise das Eisen verschlackt, und der Ofen nähert sich dem Rohgang.

Im Folgenden will ich je einen für die beschriebenen Verhältnisse passenden Möller anführen und durchrechnen:

Es soll ein spiegeliges Stahleisen mit 5—6 % Mn, 0,30% Cu und 0,20 % P erblasen werden. Der Möller I entspricht also den verlangten Anforderungen. Beim Betriebe erfolgte jedoch ein Eisen, welches infolge zu hohen Siliciumgehaltes grau wurde. Ein erhöhter Kalkzusatz brachte keine Hilfe. Der Möller war eben im Vergleich zu seiner Kieselsäuremenge zu manganarm. Ein solcher Möller mit 16,5 % Rückstand produziert auf die Tonne Eisen eine zu große Schlackenmenge, so daß von vornherein mit einer viel größeren

Möllerberechnung I, für ein spiegeliges Stahleisen mit 5—6 % Mangan.

	Gewicht naß	% H_2O	Gewicht trocken	Analyse Fe	Mn	Cu	P	CaO	R	kg im Möller Fe	Mn	Cu	P	CaO	R	Si
Siegerländer Rost .	1413	9,0	1286	47,0	9,3	0,30	—	2,5	15,0	604,4	119,6	3,8	—	32,1	192,9	—
„ Spat I	471	2,5	460	33,4	6,6	0,05	—	1,5	11,0	153,6	30,4	0,2	—	6,9	50,6	—
„ „ II	870	1,6	858	32,3	6,2	0,23	—	1,7	16,0	277,1	53,2	1,9	—	14,5	137,3	—
Brauneisenstein . .	471	12,0	415	42,0	0,5	—	0,30	—	15,0	174,3	2,1	—	1,2	—	62,2	—
Nassauer Roteisen .	942	2,0	924	53,3	0,1	—	0,16	2,0	18,0	492,5	0,9	—	1,5	18,4	166,3	—
Dillenburger „ .	471	2,0	462	44,6	0,1	—	0,18	5,6	22,0	206,1	0,4	—	0,4	25,8	101,6	—
	4638	—	—	—	—	—	—	—	—	1908,0	206,6	5,9	3,1	97,7	710,9	—
Koks	2000	—	—	—	—	—	0,05	—	3,50	—	—	—	1,0	—	70,0	—
										—	—	—	4,1	—	780,9	= 311,9
										%	%	%	%	%	%	%
										41,3	4,4	0,12	0,08	2,0	16,5	6,7
40 % Mn-Verschlackung = 1,7 %										= 2,7	2,7					
										0,12						
										0,08						

Kalkbedarf = $16,5 \times 1,6 = 26,4$ %

$M : Si = \frac{4,4}{6,7} = 0,65$

44,20 % Metall im Möller.

Das Eisen wird dann enthalten: $\frac{2,7 \times 100}{44,2} = 6,10$ % Mangan,
= 0,27 % Kupfer,
= 0,18 % Phosphor.

Möllerberechnung II, für ein Roheisen mit 0,1 % Cu und 0,15 % Phosphor.

	Gewicht naß	% H_2O	Gewicht trocken	Analyse Fe	Mn	Cu	P	CaO	R	kg in Möller Fe	Mn	Cu	P	CaO	R	Si
Siegerländer Rost .	1425	7,0	1326	47,4	9,37	0,06	—	2,5	10,1	628,5	124,2	0,8	—	33,1	133,9	—
„ Spat .	1425	1,0	1411	35,2	7,06	0,05	—	1,5	8,3	496,9	99,6	0,7	—	21,1	117,1	—
Eisenglanz	950	6,0	893	48,1	2,58	0,04	0,04	5,0	14,3	429,5	23,0	0,3	0,3	44,6	127,6	—
Dillenburger Rot I	475	2,5	464	43,1	6,20	—	0,18	5,6	21,6	199,9	0,9	—	0,8	25,9	100,2	—
„ „ II	475	2,5	464	42,1	0,20	—	0,19	8,5	21,5	195,3	0,9	—	0,9	39,4	99,7	—
	4750	—	—	—	—	—	—	—	—	1949,8	248,6	1,8	2,0	164,1	578,5	—
Koks	2000	—	—	—	—	—	0,04	—	3,5	—	—	—	0,8	—	70,0	—
										—	—	—	2,8	—	648,5	=243,8
										%	%	%	%	%	%	%
										41,04	5,23	0,037	0,058	3,4	13,64	5,1
										2,61						
										0,04						
										0,05						

50 % Verschlackung des Mangans, bleibt 2,61 %

Kalkbedarf = $13{,}64 \times 1{,}2 = 16{,}3$ %

$$\text{Mn : Si} = \frac{5{,}23}{5{,}10} = 1{,}02.$$

43,74 % Metall im Möller.

Das Eisen wird enthalten: 5,9 % Mangan,
0,09 % Kupfer,
0,14 % Phosphor.

Manganverschlackung wie 40 % gerechnet werden muß. Bei der großen Schlackenmenge ist die Reduktionsneigung des Siliciums infolge starker Si-Konzentrationen zu groß.

Bei einem Kalksteinbedarf von 26,4 % betrug die Menge des Zuschlagkalkes 4405 × 0,264 = 1145,3 kg. Der Kalk enthalte 52 % CaO, so daß vom Kalkstein 1145 × 0,52 = 595,5 kg CaO eingebracht werden. Der Möller bringt 97,7 kg CaO mit, so daß die gesamte eingebrachte CaO-Menge pro 1000 kg Eisen 693,2 kg beträgt. Nehme ich als normalen CaO-Gehalt der Schlacke den Wert unseres Versuches I mit 32,8 % an, so beträgt die Schlackenmenge pro Tonne Eisen 1107,6 kg. Da der Mangangehalt einer solchen Schlacke etwa 9—10 % beträgt, so müßten 110,7 kg Mangan verschlackt werden. Der Mangangehalt des Möllers beträgt auf die Tonne Eisen umgerechnet nur 108,2 kg. Soll nun die gewünschte Manganreduktion von 55 kg pro Tonne Eisen erfolgen, so könnten nur 53,2 kg durch die Schlacke abgeführt werden, was einem Mangangehalt der Schlacke von 4,80 % entspräche. Eine derartig weitgehende Manganreduktion ist nur unter gleichzeitiger Siliciumreduktion möglich, gleichzeitig müßte bei solchem Betriebe mit derartig kalkigen und strengflüssigen Schlacken gearbeitet werden, daß sie zu Betriebsstörungen, wie Verbrennen der Formen, Verengung des Gestells etc., Veranlassung geben.

Das Umgekehrte war bei Möller II der Fall. Es sollte ein Eisen mit etwa 3 % Mangan, 0,15 % Phosphor erblasen werden. Zur Verfügung standen Siegerländer Roste und Spate, sowie Roteisensteine von Dill und Lahn. Bei einem Rückstandgehalt des Möllers von 13,64 % und Kalksteinzuschlag von 16 % beträgt die Schlackenmenge pro Tonne Eisen, wenn man mit 30 % Ca O in der Schlacke rechnet, 912,7 kg. Bei einem Mangangehalt des Eisens von 3,5 % müßten also 35 kg Mangan reduziert werden, während 213,5 kg von der Schlacke aufgenommen werden müßten, d. h. 85,9 % des gemöllerten Mangans müßten verschlackt

werden. Daß eine so weitgehende Verschlackung des Mangans — die Schlacke müßte dann etwa 23 % Mangan enthalten — nicht ohne gleichzeitige Eisenverschlackung möglich ist, leuchtet ein. Die Anwendung einer stark sauren Schlacke zur Bindung des Mangans ist auch nicht angängig, weil dann Silicium in größerem Maße reduziert und damit das Material unbrauchbar würde. Es gibt kein anderes Mittel, als durch geeignete Wahl rückstandreicherer und manganärmerer Roteisensteine die Schlackenmenge zu vergrößern.

Die in den Lehrbüchern wiederkehrende Zahl eines Manganverlustes durch Verschlackung von 30 % bedarf einer Erweiterung dahingehend, daß die Manganverschlackung eine Funktion der Schlackenmenge und ein Charakteristikum des jeweiligen Ofenbetriebes ist. Die Verluste sinken mit zunehmendem Mangangehalt des Eisens und abnehmender Schlackenmenge.

Versuch I. 6,02 % Mn im Eisen, 57,84 % des Mangans verschlackt.
„ II. 10,83 % „ „ „ 36,90 % „ „ „
„ III. 12,91 % „ „ „ 32,10 % „ „ „
„ IV. 20,32 % „ „ „ 23,01 % „ „ „

Die Schlackenmenge betrug: 800,6 kg, 746,5 kg, 699,8 kg, 733,9 kg.

Über ein bestimmtes Maß hinaus kann die Manganreduktion nicht erfolgen, weil einmal die Konzentrationsverhältnisse zu Gunsten der Siliciumreduktion verschoben werden, dann aber, falls diesem durch erhöhten Kalkzusatz entgegengearbeitet wird, die Schlacke zu strengflüssig werden würde. Die Grenze, wo die Reduktion des Siliciums in größerem Maße einsetzt, läßt sich nicht genau angeben. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß aus dem Verhältnis des prozentualen Mangan- und Kieselsäuregehalt des Möllers — also aus dem Quotienten $\frac{Mn}{Si}$ ein Rückschluß auf die Siliciumreduktion gemacht werden kann.

Dieser Quotient darf bei:

1. Spiegeleisen 6/8 nicht kleiner sein als 0,8
2. „ 10/12 „ „ „ „ 1,5
3. „ 12/14 „ „ „ „ 2,0
4. „ 18/22 „ „ „ „ 2,5

ohne daß Siliciumreduktion in größerem Maße einsetzt. Vorausgesetzt sind natürlich normale Betriebsverhältnisse. Hieraus ergibt sich, daß der Mangangehalt des Möllers betragen muß:

1. Spiegeleisen 6/8 etwa 5 %
2. „ 10/12 „ 8 %
3. „ 12/14 „ 9 %
4. „ 18/22 „ 12—14 %

Der Mangangehalt der Schlacke stellt sich dann auf 9—10 % Mn.

4. Die Durchsetzzeit des Ofens.

Die Durchsetzzeit eines Ofens hängt bei einer einmal vorhandenen Ofenhöhe von der verlangten Produktion ab. Lassen die Begichtungseinrichtungen und die Leistung der Gebläsemaschine eine Produktionserhöhung zu, so muß bei demselben Metallgehalt des Möllers die Durchsetzzeit entsprechend geringer werden. Nun können die Beschickungsmaterialien bei geringerer Durchsetzzeit nicht in dem vorbereiteten Zustande in den Schmelzraum gelangen, als wie bei langsamer Durchsetzzeit. Vor allem wird die Reduktion durch CO zeitlich herabgesetzt, was sich durch höheren Koksverbrauch geltend machen muß. Bei Manganhochöfen wird sich dieser Übelstand ganz besonders bemerkbar machen.

Als Maßstab für die Durchsetzzeit kann der Ofeninhalt, der in 24 Stunden pro 1000 kg erblasenes Metall notwendig ist, gelten. Man erhält so eine Zahl, ausgedrückt in m^3, die als Vergleichszahl gelten kann. Für die hier gewählten Versuche ergibt sich unter Berücksichtigung des nutzbaren Ofeninhaltes

Versuch I = 3,29 m^3
„ II = 3,88 „
„ III = 3,78 „
„ IV = 3,99 „

Vergleichen wir diese Zahlen mit den von Gillhausen für zwei ähnliche Fälle, nämlich für die Darstellung von Stahleisen mit 3 % Mn und Spiegeleisen 10/12, gefundenen Werten von 2,16 m^3 und 3,19 m^3, so wurde bei diesen Versuchen rascher durchgesetzt, was zu dem hohen Koksverbrauch von 1144,8 kg und 1203,3 kg sicherlich beigetragen hat. Zum Zweck einer möglichst weitgehenden Kohlenstoffausnutzung ist eine bestimmte Durchsetzzeit erforderlich. Und auf Grund der hier durchgerechneten Versuche möchte ich den Ofeninhalt pro 24 Stunden pro 1000 kg erzeugtes Metall zu 3,3—4,0 m^3 wachsend mit steigender Manganreduktion ansetzen.

Schlussbetrachtungen.

Bevor ich die Resultate meiner Untersuchung zusammenstelle, möchte ich noch einige allgemeine Betrachtungen über die Reduktionsverhältnisse des Mangans im Hochofen anknüpfen.

In den Manganbilanzen ist die Differenz zwischen Ein- und Ausbringen auf das Konto „Verflüchtigung“ gesetzt worden, welches mit steigender Manganreduktion von 0,81 % bei Versuch I bis 7,62 % bei Versuch IV wächst. Wenn auch bei der Spiegeleisenfabrikation mit niedrigem Mangangehalte eine Manganverflüchtigung nur in geringem Maße einsetzt, so macht sie sich bei höheren Spiegeleisensorten empfindlich bemerkbar. Und beim Erblasen von Ferromanganen steigen die Verluste auf 20—25 % und noch darüber. Das von den Formen verflüchtigte Mangan oxydiert in den oberen Partien des Ofens wieder, wird in sehr fein verteiltem Zustande von Gasen mit abgeführt und ruft die für Manganhochöfen so typisch charakteristische, braune Rauchfärbung hervor.

Daß bei Versuch III die Manganbilanz glatt aufgeht, ohne daß Verluste durch Verflüchtigung eingetreten sind, hat offenbar seinen Grund in der Entstehung von Ansätzen in Gestell und Rast.

Bei der stets dickflüssigen und kalkreichen Schlacke und der bei Manganhochöfen sehr stark auftretenden Graphitausscheidung im Gestell, bildet die Schlacke mit dem Graphit gewissermaßen einen feuerfesten Baustoff, der sich an den Wandungen festsetzt. Es werden auf diese Weise Ansätze im Ofen gebildet, die sich dadurch bemerkbar machen, daß das Fassungsvermögen des Ofens geringer wird. Infolge dieser stets manganhaltigen und kalkreichen Schlackenansätze entziehen sich größere Mengen Mangan der Reduktion und ebenfalls der Berechnung. Im allgemeinen geschieht dieses Anbauen nur bis zu einer bestimmten Grenze, weil das Material im Aktionsradius der Formen wegschmelzen muß. Immerhin kommt es vor, daß sich beim normalen Betrieb solche Ansätze lösen, und so gelangen größere Mengen Mangan zur Reduktion, und die Manganbilanz muß in solchem Falle mit einem Plus abschneiden.

Besonders leicht lösen sich diese Ansätze beim Umstellen von Spiegeleisen auf manganarme Eisensorten, bei deren Darstellung man mit saurer Schlacke arbeitet. Der Praktiker wird nun niemals von Spiegeleisen 12/14 sofort auf Puddeleisen umstellen, denn einmal würde er das aus den Manganerzen erhaltene, noch im Ofen sich befindende kostbare Mangan nutzlos in die Schlacke jagen, sodann aber können die gebildeten Ansätze durch die wesentlich sauerere Schlacke rasch aufgelöst werden. Sie stürzen dann in den Schmelzraum, die zur Verfügung stehende Wärme reicht nicht mehr aus und es entstehen Betriebsstörungen. Für die Darstellung von Spiegeleisen kann daher folgende Regel gelten:

Man gebe anfangs kleine Erzgichten auf und halte den Zuschlagkalk etwa 2 % höher als der berechnete beträgt. In dem Maße, wie der ganze Ofen wärmer wird, was man

am Steigen der Gichttemperatur beobachten kann, gehe man mit dem Erzsatz höher und lasse den Kalksatz sinken. Eventuelle Änderungen der Erz- und Kalkgewichte werden stets mal erforderlich sein, diese ergeben sich aus der ständigen Beobachtung des Ofenganges. Doch ist es im allgemeinen zu empfehlen, obige Regel einzuhalten, um möglichst schnell auf die gewünschten Mangangehalte zu kommen.

Desgleichen setze man langsam auf manganarmes Eisen um, um ohne weitere Betriebsstörungen die auftretenden „Lösungen" verarbeiten zu können.

Als Ergebnis meiner Untersuchungen möchte ich für die Reduktion des Mangans im Spiegeleisen-Hochofen folgende Thesen aufstellen:

Thesen.

1. Die Reduktion des Mangans kann sowohl indirekt wie direkt geschehen.
2. Der Brennstoffverbrauch steigt mit zunehmender Manganreduktion.
3. Das prozentuale Manganausbringen steigt mit zunehmendem Mangangehalt des Eisens und der Reinheit der Erze.
4. Heißer Ofengang und dadurch bedingte hohe Gichttemperatur begünstigen die Manganreduktion.
5. Die Manganverluste durch Verschlackung sinken mit steigendem Mangangehalt des Eisens.
6. Die Basizität der Schlacke muß sich der eines 0,8—1,00 Silikates nähern.
7. Der Mangangehalt der Schlacke beträgt 8—10 %.
8. Die Manganverluste durch Verschlackung sind bei normalem Betrieb eine Funktion der Schlackenmenge.
9. Das Verhältnis Mn zu Si im Möller darf nicht unter eine bestimmte Grenze sinken, ohne daß Siliciumreduktion einsetzt.

10. Langsame Durchsetzzeit begünstigt die Manganreduktion, indem der Brennstoffbedarf geringer wird, und der Ofeninhalt pro 1000 kg Metall pro 24 Stunden muß wachsen mit zunehmender Manganreduktion.
11. Die Manganverluste durch Verflüchtigung sind bei niedrigen Spiegeleisensorten gering, steigen jedoch schnell mit zunehmender Manganreduktion und betragen für 20 % iges Spiegeleisen 7—8 %.
12. Die Manganverluste durch Gichtstaub übersteigen im allgemeinen 1 % nicht.

Analysen.

Erz-, Kalk- und

		H_2O	Fe	Mn	SiO_2
Versuch I	Siegerländer Rost I . .	9,00	47,90	9,44	10,77
	„ „ II . .	6,00	48,06	9,08	12,15
	„ Spat I . .	2,75	34,04	6,93	8,40
	„ „ II . .	0,75	33,04	6,32	12,75
	Eisenglanz	8,00	49,23	2,59	10,15
	Kalk, Westerwald	0,49	0,25	—	0,70
	„ Lenne	0,50	1,25	—	1,13
	Koks	9,72	1,83	0,01	3,60
Versuch II	Siegerländer Rost I . .	7,50	47,24	9,72	10,32
	„ „ II . .	7,50	46,54	9,20	14,60
	„ Spat I . .	3,00	34,36	7,14	8,75
	„ „ II . .	1,25	32,98	6,48	13,00
	Manganerz	0,60	6,85	49,90	7,95
	Kalk	0,50	0,50	—	0,91
	Hammerschlag	8,00	69,20	0,70	4,00
	Koks	9,72	1,83	0,01	3,60
Versuch III	Siegerländer Rost I .	8,25	47,46	9,51	10,10
	„ „ II .	6,25	46,76	9,01	14,50
	„ Spat I .	2,00	34,16	7,00	8,10
	„ „ II .	0,50	33,46	6,46	11,05
	Manganerz	0,60	6,85	49,90	7,95
	Kalk	0,47	0,23	—	0,70
	Koks	9,74	1,83	0,01	3,60
	Hammerschlag	8,00	69,20	0,70	4,00
Versuch IV	Siegerländer Rost I . .	8,50	48,03	10,05	10,12
	„ „ II . .	8,63	46,20	9,68	12,50
	„ Spat	1,50	33,14	7,02	11,15
	Manganerz	0,62	3,40	49,03	11,75
	Kalk	0,46	0,33	—	0,71
	Koks	5,77	1,71	0,01	3,55
	Waschеisen	—	78,80	0,86	8,18

Koksanalysen.

Ca O	Mg O	$Al_2 O_3$	Cu	S	CO_2	P	C
2,74	3,19	2,58	0,048	0,35	—	—	—
2,90	3,24	2,23	0,250	0,85	—	—	—
1,96	2,23	3,86	0,048	0,25	35,80	—	—
1,72	2,36	3,61	0,320	0,78	34,90	—	—
5,08	1,65	4,28	0,060	—	—	0,05	—
51,08	0,72	1,77	—	—	40,76	—	—
51,96	1,72	0,69	—	—	43,24	—	—
0,40	0,16	2,95	—	1,20	—	0,04	87,90
1,41	3,22	2,59	0,060	0,37	—	—	—
1,48	3,28	2,57	0,240	0,72	—	—	—
1,17	2,56	2,54	0,050	0,34	36,36	—	—
1,25	2,25	2,42	0,190	0,74	34,63	—	—
1,10	1,15	2,82	0,040	—	—	0,100	—
51,54	1,23	1,50	—	—	41,90	—	—
1,48	1,08	4,65	—	—	—	—	—
0,40	0,16	2,95	—	1,20	—	0,04	87,90
1,27	3,17	2,69	0,064	0,36	—	—	—
1,43	3,25	2,81	0,300	0,80	—	—	—
1,11	1,16	2,41	0,048	0,35	34,50	—	—
1,27	2,23	2,57	0,280	0,75	34,60	—	—
1,10	1,15	2,82	0,040	—	—	0,10	—
54,16	0,72	1,45	—	—	43,20	—	—
0,40	0,16	2,95	—	1,20	—	0,04	87,90
1,48	1,08	4,65	—	—	—	—	—
1,80	3,17	3,38	0,064	0,35	—	—	—
1,19	3,02	4,43	0,059	0,35	—	—	—
0,95	2,44	2,85	0,050	0,37	35,16	—	—
1,11	1,16	2,94	—	—	—	0,08	—
54,88	0,60	0,86	—	—	43,70	—	—
0,37	0,15	3,01	—	0,92	—	0,04	87,22
4,50	1,19	3,35	0,02	0,08	—	0,81	2,21

Schlackenanalysen.

	Fe	Mn	SiO_2	Ca O	Mg O	Al_2O_3	S	Fe O	Mn O	Basizität
Versuch I	0,87	10,68	36,10	32,97	7,77	7,16	1,64	1,11	13,77	1,000
	1,25	10,96	37,30	31,41	7,94	8,82	1,85	1,60	14,13	1,000
	1,31	10,75	35,85	34,11	8,01	8,14	1,98	1,67	13,86	0,906
Mittel:	1,14	10,79	36,41	32,83	7,90	8,04	1,82	1,46	13,92	0,968
Versuch II	0,99	10,30	35,30	33,87	7,09	10,60	1,99	1,26	13,28	0,906
	0,60	10,86	34,65	35,85	8,10	9,93	1,89	0,77	14,01	0,860
	0,36	6,43	35,30	38,79	8,42	9,41	2,38	0,52	8,29	0,901
Mittel:	0,65	9,19	35,08	36,13	8,26	9,67	2,13	0,85	11,86	0,889
Versuch III	0,36	8,20	36,05	36,84	8,70	9,56	2,22	0,52	10,57	0,915
	0,48	8,91	35,15	37,14	6,86	11,25	2,24	0,61	11,49	0,901
	0,30	9,82	34,05	35,55	9,83	10,38	2,24	0,38	12,66	0,870
	0,24	8,52	33,50	38,55	9,50	8,93	2,28	0,30	10,99	0,828
	0,24	9,40	36,36	36,36	10,37	8,33	2,32	0,30	12,12	0,911
	0,30	8,91	35,05	36,15	9,50	9,62	2,44	0,38	11,49	0,876
	0,54	9,06	34,80	36,45	8,97	9,88	2,20	0,69	11,68	0,865
	0,48	7,71	34,65	36,15	9,66	10,33	2,36	0,61	9,94	0,862
	0,36	7,95	33,90	39,39	9,27	9,69	2,24	0,52	9,09	0,833
Mittel:	0,37	8,84	34,83	36,96	9,20	9,77	2,28	0,47	11,40	0,873
Versuch IV	0,42	7,71	34,71	38,52	7,44	10,36	1,94	0,54	9,94	0,872
	0,40	9,10	34,50	37,20	7,56	10,43	1,62	0,51	11,74	0,862
	0,30	7,60	34,40	37,52	7,79	11,43	1,84	0,38	9,80	0,852
	0,25	8,31	32,53	38,22	10,35	11,05	2,06	0,32	10,72	0,764
	0,18	10,05	33,48	34,68	12,57	11,00	1,64	0,23	12,96	0,774
	0,31	10,68	33,55	34,92	13,18	11,56	1,68	0,39	13,77	0,749
	0,25	9,68	34,35	35,43	11,69	11,50	1,62	0,32	12,48	0,793
	0,31	11,10	34,20	35,75	11,90	11,48	2,02	0,39	14,31	0,770
	0,21	11,30	34,25	36,25	12,30	11,31	1,93	0,27	14,57	0,763
	0,36	9,06	34,50	36,54	—	11,34	1,95	0,52	11,68	0,801
Mittel:	0,39	9,40	34,05	36,50	10,53	11,15	1,93	0,49	12,13	0,800

Gichtstaubanalysen.

	Fe	Mn	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	CO_2	C	Cu
Versuch I	36,39	7,77	7,55	3,35	4,86	5,92	5,88	8,58	—
	34,77	7,26	6,97	3,23	4,48	4,62	5,71	8,97	—
Mittel:	35,85	7,51	7,26	3,29	4,67	5,27	5,79	8,76	—
	36,09	7,29	6,05	2,70	4,17	3,81	6,35	8,02	0,03
Versuch II	35,85	8,55	6,87	3,09	3,56	1,77	6,15	9,03	0,04
	40,23	8,76	6,20	3,15	4,95	6,01	6,40	10,86	—
Mittel:	37,39	8,20	6,37	2,98	4,22	5,79	6,30	9,03	0,02
	36,20	8,40	5,50	2,25	3,55	3,13	7,33	10,99	—
	35,75	8,50	4,10	2,45	4,41	3,85	7,33	10,02	—
	35,35	7,48	5,97	2,90	5,90	4,67	8,10	10,65	—
	37,15	7,59	4,50	2,88	6,30	3,56	7,95	10,76	—
Versuch III	37,47	7,56	5,65	3,15	5,49	5,13	8,12	12,13	—
	40,08	8,07	5,35	2,76	5,07	4,71	7,86	10,87	—
	39,81	7,75	5,17	2,82	4,32	2,71	7,56	11,22	—
	39,45	7,83	4,70	3,15	5,28	4,41	7,24	10,55	—
	37,47	7,74	4,65	3,12	4,86	4,83	7,11	10,67	—
Mittel:	37,64	7,77	5,06	3,05	5,13	4,11	7,51	10,98	—
	40,23	7,50	8,05	3,05	6,05	4,24	2,37	3,35	0,03
	39,54	8,43	7,00	3,51	6,81	4,59	2,23	3,59	—
	41,97	9,06	7,00	3,29	6,81	5,37	2,14	3,74	—
Versuch IV	42,87	9,78	7,00	3,81	6,81	5,07	3,06	3,80	0,05
	42,80	10,20	7,40	3,04	6,90	4,75	2,22	3,72	—
	40,65	9,75	7,05	2,94	6,90	5,45	2,25	4,01	—
	41,60	10,20	6,65	2,54	5,90	5,85	2,11	3,92	0,04
Mittel:	41,38	9,27	7,16	3,16	6,59	5,04	2,34	3,71	0,04

Roheisenanalysen.

	Fe	Mn	Si	Cu	P	S	C
Versuch I	—	—	0,89	0,30	0,03	0,05	4,09
	—	—	0,92	0,27	0,05	0,06	4,34
	—	—	0,95	0,30	0,04	0,04	3,87
Mittel:	88,58	6,62	0,92	0,29	0,04	0,05	4,10
Versuch II	—	—	1,20	0,21	0,08	0,06	4,51
	—	—	1,13	0,23	0,05	0,05	4,92
	—	—	1,09	0,22	0,05	0,04	4,92
Mittel:	82,91	10,83	1,14	0,22	0,06	0,05	4,80
Versuch III	—	—	1,86	0,23	0,06	0,04	4,50
	—	—	1,59	0,22	0,05	0,06	4,97
	—	—	1,60	0,26	0,04	0,05	4,91
	—	—	1,63	0,25	0,07	0,04	4,97
	—	—	1,55	0,27	0,05	0,04	4,98
	—	—	1,90	0,26	0,04	0,02	5,01
	—	—	1,61	0,26	0,05	0,03	5,31
	—	—	1,59	0,24	0,04	0,05	5,11
	—	—	1,62	0,26	0,05	0,04	5,12
Mittel:	80,12	12,91	1,65	0,25	0,05	0,04	4,99
Versuch IV	—	—	1,88	0,10	0,09	0,04	5,90
	—	—	1,92	0,11	0,11	0,05	6,02
	—	—	2,10	0,11	0,10	0,05	5,92
	—	—	2,19	0,10	0,09	0,04	5,98
	—	—	2,05	0,12	0,08	0,04	6,03
	—	—	1,99	0,11	0,12	0,03	6,02
	—	—	1,97	0,08	0,10	0,03	6,00
	—	—	2,00	0,08	0,11	0,04	5,89
	—	—	2,01	0,09	0,09	0,04	6,02
	—	—	2,00	0,10	0,11	0,04	5,99
Mittel:	71,45	20,32	2,01	0,10	0,10	0,04	5,98

Gasanalysen.

	CO_2	CO	H	CH_4	N
Versuch I	11,6	25,2	1,80	—	—
	11,8	26,2	1,60	—	—
	12,2	25,6	1,10	—	—
Mittel:	11,8	25,6	1,50	0,7	60,4

	CO_2	CO	H	CH_4	N
Versuch II	12,0	26,6	1,70	—	—
	10,4	27,8	0,90	—	—
	10,6	27,2	1,60	—	—
	10,4	27,2	1,90	—	—
	10,2	27,8	1,30	—	—
	9,0	29,4	0,90	—	—
	9,8	30,6	1,10	—	—
Mittel:	10,34	28,08	1,37	0,68	59,53

	CO_2	CO	H	CH_4	N
Versuch III	10,80	27,6	1,50	—	—
	9,60	27,6	1,82	—	—
	9,40	28,6	1,98	—	—
	10,00	28,6	1,81	—	—
	10,60	29,0	1,76	—	—
	11,00	29,6	2,11	—	—
	10,40	29,6	1,66	—	—
	7,6	28,6	1,55	—	—
	10,0	32,0	1,70	—	—
	9,0	28,4	1,59	—	—
	8,2	33,4	1,43	—	—
	8,9	28,4	1,21	—	—
	9,0	27,8	1,12	—	—
	10,2	27,7	1,86	—	—
	9,1	28,1	1,37	—	—
	9,6	28,4	1,45	—	—
Mittel:	9,5	28,9	1,62	0,76	59,22

	CO_2	CO	H	CH_4	N
Versuch IV	8,8	29,2	1,40	—	—
	6,6	29,2	1,00	—	—
	6,2	30,4	0,90	—	—
	6,0	32,0	1,60	—	—
	6,0	30,0	0,70	—	—
	4,8	31,2	1,40	—	—
	5,4	28,6	1,30	—	—
	6,2	28,8	1,20	—	—
	5,8	30,8	1,10	—	—
	6,0	21,6	1,20	—	—
	7,2	31,0	1,20	—	—
	6,0	33,2	1,00	—	—
	7,4	32,6	1,20	—	—
	6,6	30,6	1,30	—	—
	6,8	30,2	1,40	—	—
	7,6	30,2	1,30	—	—
Mittel:	6,64	29,9	1,21	0,81	61,62

Staubbestimmungen.

Versuch I	Versuch II	Versuch III	Versuch IV
4,7 gr	8,8 gr	5,4 gr	5,2 gr
5,4 „	5,4 „	2,7 „	9,2 „
4,4 „	5,0 „	2,9 „	10,5 „
5,2 „	5,4 „	4,3 „	7,8 „
3,5 „	2,7 „	6,0 „	7,8 „
4,5 „	3,6 „	4,0 „	7,8 „
5,9 „	7,3 „	5,0 „	10,5 „
—	6,6 „	7,8 „	11,8 „
—	2,5 „	4,0 „	5,2 „
—	—	6,9 „	—
4,80 gr	5,25 gr	4,9 gr	8,5 gr

Wärmeinhalts-Bestimmungen.

Versuch II.

Wärmeinhalt des Eisens.

Nr.	Temp.-Erhöhung °C	Gewicht des Eisens gr	$W=\frac{a\,(t_1-t)}{g}$
1	3,0	40,7	280
2	11,25	174,0	271
3	10,0	149,0	281
4	2,7	40,8	277
5	0,9	14,1	284
6	3,5	54,4	270
		Mittel:	277

Wärmeinhalt der Schlacke.

Nr.	Temp.-Erhöhung °C	Gewicht der Schlacke gr	$W=\frac{a\,(t_1-t)}{g}$
1	6,0	37,0	442
2	5,0	49,0	428
3	3,6	36,25	417
4	3,5	34,0	426
5	2,5	21,6	486
6	3,5	33,25	442
7	5,5	52,2	442
		Mittel:	440

Versuch IV.

Wärmeinhalt des Eisens.

Nr.	Temp.-Erhöhung °C	Gewicht des Eisens gr	$W=\frac{a\,(t_1-t)}{g}$
1	0,9	12,5	302
2	7,8	109,0	300
3	4,5	69,5	271
4	0,8	11,5	292
5	2,8	37,5	310
6	0,2	3,5	240
7	1,9	28,5	280
8	4,2	63,0	280
9	1,0	13,7	306
10	2,2	33,0	271
11	2,7	41,0	276
12	1,9	27,5	290
		Mittel:	288

Wärmeinhalt der Schlacke.

Nr.	Temp.-Erhöhung °C	Gewicht der Schlacke gr	$W=\frac{a\,(t_1-t)}{g}$
1	2,5	24,5	430
2	2,0	22,5	373
3	2,5	22,5	466
4	2,0	24,0	350
5	1,25	12,5	422
6	3,0	30,0	420
7	2,9	25,5	477
8	2,4	21,5	469
9	2,0	18,5	454
10	3,5	32,5	452
11	1,3	14,0	390
12	1,3	11,5	472
13	1,9	18,0	443
14	2,3	21,5	449
15	1,5	14,0	450
16	1,8	16,0	472
17	1,8	18,5	408
18	2,5	22,5	367
		Mittel:	436

Manganausbringen.

Versuch I.

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan kg	im Mittel %
11./3.	9 600	6,49	623,1	—
	15 300	5,54	848,2	—
	14 500	5,82	843,9	—
	15 000	6,00	900,0	—
	13 500	6,39	862,6	—
	13 000	5,80	754,0	—
	6 000	6,56	393,6	—
	86 900	—	5225,4	6,01
12./3.	9 100	6,56	596,9	—
	13 600	5,90	801,5	—
	13 100	6,56	859,4	—
	15 100	6,37	963,0	—
	15 000	6,91	1036,5	—
	10 700	5,92	633,4	—
	76 600	—	4890,7	6,38
13./3.	6 400	5,92	378,8	—
	16 700	5,26	878,4	—
	12 000	5,00	600,0	—
	35 100	—	1857,2	5,42
Sa.	198 600	—	11973,3	6,02

Versuch II.

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan kg	im Mittel %
13./3.	20 000	7,24	1449,0	—
	13 700	7,96	1089,0	—
	13 000	8,46	1099,8	—
	10 000	7,98	798,0	—
	56 700	—	4435,5	7,82
14./3.	4 300	10,05	432,1	—
	11 800	10,43	1230,7	—
	13 300	10,14	1348,6	—
	14 200	10,92	1550,6	—
	13 100	11,51	1507,8	—
	12 700	11,37	1443,9	—
	2 500	11,56	289,0	—
	71 900	—	7802,7	10,85
15./3.	9 700	11,56	1121,3	—
	12 500	12,27	1533,7	—
	12 600	12,30	1549,8	—
	13 200	12,38	1634,1	—
	13 100	12,74	1668,9	—
	10 000	12,74	1274,0	—
	71 100	—	8781,8	12,34
16./3.	3 200	12,74	507,7	—
	11 400	12,80	1459,2	—
	11 600	12,90	1496,4	—
	13 600	12,20	1659,2	—
	39 800	—	4922,5	12,86
Sa.	239 500	—	25 942,5	10,83

Versuch III.

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan kg	im Mittel %
16./3.	13 600	11,75	1 598,0	—
	15 000	11,21	1 681,5	—
	2 000	11,80	236,0	—
	30 600	—	3 515,5	11,48
17./3.	10 600	11,80	1 250,8	—
	13 900	12,27	1 705,5	—
	12 800	12,13	1 552,6	—
	12 300	12,58	1 547,3	—
	11 900	12,62	1 501,7	—
	12 500	12,13	1 516,2	—
	3 000	11,80	354,0	—
	77 000	—	9 428,1	12,24
18./3.	9 200	11,80	1 085,6	—
	14 500	13,00	1 885,0	—
	14 000	12,69	1 776,6	—
	12 300	12,33	1 516,5	—
	12 700	11,91	1 512,5	—
	9 000	12,27	1 104,3	—
	71 700	—	8 880,5	12,38
19./3.	2 300	12,27	282,2	—
	13 000	13,11	1 705,6	—
	13 300	12,74	1 694,4	—
	12 900	12,50	1 611,9	—
	13 000	12,74	1 656,2	—
	13 700	13,33	1 826,2	—
	11 100	12,41	1 377,5	—
	79 300	—	10 154,0	12,80
20./3.	13 000	12,13	1 576,9	—
	13 000	12,31	1 600,3	—
	12 900	13,16	1 697,6	—
	12 000	12,86	1 543,2	—
	12 800	13,16	1 684,4	—
	11 500	13,33	1 532,9	—
	2 000	13,33	266,6	—
	77 200	—	9 901,9	12,82
21./3.	7 200	13,33	959,7	—
	13 100	13,68	1 792,0	—
	12 200	13,68	1 668,9	—
	12 900	13,68	1 764,7	—
	11 700	14,16	1 656,7	—
	11 200	13,49	1 510,8	—
	7 000	12,54	877,8	—
	75 300	—	10 230,6	13,58
22./3.	2 700	12,54	338,5	—
	10 800	13,00	1 404,0	—
	10 800	13,92	1 503,3	—
	10 200	13,16	1 605,5	—
	12 300	14,39	1 769,9	—
	12 600	13,09	1 649,3	—
	7 000	12,33	863,1	—
	68 400	—	9 133,6	13,35
23./3.	3 300	12,33	406,8	—
	11 200	13,01	1 456,0	—
	12 900	13,49	1 740,2	—
	13 300	13,28	1 766,2	—
	11 600	13,28	1 540,4	—
	11 600	13,96	1 619,3	
	7 000	13,00	910,0	—
	70 900	—	9 438,9	13,31
24./3.	1 300	13,00	169,0	—
	11 600	13,19	1 530,0	—
	11 700	13,42	1 570,1	—
	11 900	13,45	1 600,5	—
	11 200	13,16	1 473,9	—
	10 000	12,58	1 258,0	—
	10 400	13,49	1 402,0	—
	68 100	—	9 003,5	13,24
25./3.	11 100	13,21	1 466,3	—
	10 500	14,11	1 481,5	—
	21 600	—	2 947,6	13,64
Sa.	640 100	—	82 634,4	12,909

Versuch IV.

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan kg	im Mittel %
18./6.	14 200	15,40	2 186,8	—
	13 300	16,49	2 193,1	—
	13 200	19,60	2 587,2	—
	12 200	22,04	2 688,8	—
	11 200	21,25	2 380,0	—
	8 000	22,50	180,0	—
	72 100		12 215,9	16,94
19./6.	1 200	22,50	270,0	—
	9 200	23,52	2 163,8	—
	11 800	23,52	2 775,3	—
	10 000	22,72	2 272,0	—
	12 100	22,50	2 722,5	—
	11 700	23,52	2 751,8	—
	5 000	22,82	1 141,0	—
	61 000		13 826,4	22,66
20./6.	5 500	22,82	1 255,0	—
	10 000	23,66	2 366,0	—
	10 000	24,12	2 412,0	—
	10 000	22,80	2 280,0	—
	10 000	22,26	2 226,0	—
	8 000	23,10	1 848,0	—
	9 000	23,66	2 129,4	—
	62 500		14 516,4	23,22
21./6.	8 700	24,58	2 138,4	—
	9 100	23,22	2 113,0	—
	8 700	21,98	1 912,2	—
	9 100	21,25	1 961,0	—
	10 000	22,08	2 208,0	—
	9 000	22,18	1 996,2	—
	9 000	22,18	1 996,2	—
	1 400	21,04	294,5	—
	65 000		14 619,5	22,49

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan kg	im Mittel %
22. 6.	7 600	21,05	1 599,0	—
	8 600	21,04	1 809,4	—
	8 700	21,24	1 847,8	—
	8 200	20,28	1 662,9	—
	8 000	20,00	1 600,0	—
	8 600	19,34	1 654,6	—
	8 100	21,04	1 704,2	—
	5 300	18,88	1 000,0	—
	63 100		12 877,9	20,40
23./6	8 400	20,20	1 696,8	—
	9 300	18,88	1 766,0	—
	9 700	19,14	1 856,5	—
	9 800	19,14	1 875,7	—
	8 300	20,20	1 676,6	—
	8 500	19,94	1 694,9	—
	9 200	19,56	1 799,5	—
	3 600	19,94	717,8	—
	66 800		13 083,8	19,58
24. 6.	6 000	19,94	1 196,4	—
	8 900	20,28	1 804,9	—
	8 700	19,78	1 715,6	—
	8 800	19,34	1 701,9	—
	10 000	19,34	1 934,0	—
	9 400	19,10	1 795,4	—
	9 200	18,64	1 714,8	—
	9 500	19,02	1 806,9	—
	2 300	19,58	450,3	—
	72 800		14 120,2	19,39

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan %	im Mittel %
25./6.	3 000	19,58	587,4	—
	8 500	19,58	1 664,3	—
	8 700	20,10	1 748,7	—
	8 400	21,60	1 844,4	—
	8 900	19,58	1 742,6	—
	8 600	19,72	1 695,9	—
	8 300	19,72	1 636,7	—
	8 300	19,16	1 590,2	—
	7 700	19,16	1 475,3	—
	2 900	19,90	577,1	—
	73 300	—	14 562,6	19,86
26./6.	5 000	19,90	995,0	—
	8 000	21,60	1 728,0	—
	7 400	22,42	1 659,0	—
	8 200	22,18	1 818,7	—
	7 800	20,94	1 633,3	—
	8 400	21,70	1 822,8	—
	8 200	22,56	1 849,9	—
	7 800	20,94	1 633,3	—
	7 400	20,48	1 515,5	—
	5 000	18,88	944,0	—
	73 200	—	15 599,5	21,31

Dat.	Gewicht des Abstiches	Mn %	Mangan %	im Mittel %
27./6.	3 000	18,88	566,4	—
	8 400	17,22	1 446,4	—
	7 800	18,88	1 472,6	—
	8 100	19,34	1 566,5	—
	8 000	19,06	1 524,8	—
	8 000	19,62	1 569,6	—
	8 200	20,28	1 662,9	—
	8 300	19,82	1 645,0	—
	7 900	19,06	1 367,8	—
	7 000	19,54	1 505,7	—
	74 700	—	14 332,7	19,18
28./6.	8 900	19,06	1 696,3	—
	7 800	18,01	1 404,7	—
	7 700	20,18	1 558,8	—
	8 100	19,90	1 611,9	—
	8 600	20,28	1 744,0	—
	8 300	18,88	1 567,0	—
	8 100	19,34	1 566,8	—
	7 100	19,82	1 407,2	—
	7 500	19,88	1 491,0	—
	72 100	—	14 047,4	19,48
Sa.	756 600	—	153 802,3	20,32

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle Herrn Kommerzienrat Ferd. Schneider für sein liebenswürdiges Entgegenkommen und die sachkundige und wohlwollende Unterstützung bei der Ausführung der Versuche, sowie ferner Herrn Professor Oskar Simmersbach für seine wertvollen Anregungen und Ratschläge bei der Anfertigung der Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Hermann Thaler, wurde geboren am 16. Juni 1886 zu Dortmund. Zunächst besuchte ich die Volksschule meiner Vaterstadt und ging Ostern 1896 zum Realgymnasium, wo ich Ostern 1905 das Abiturientenexamen bestand. Nach halbjähriger Praxis auf der Dortmunder Union begann ich Herbst 1905 an der Technischen Hochschule zu Aachen das Studium der Hüttenkunde und legte im November 1909 meine Diplomprüfung ab.

Nach 1 jähriger Tätigkeit als Assistent an der Kgl. Bergakademie zu Clausthal ging ich am 1. Januar 1911 in die Praxis.

Profil Ofen I.
zu den Versuchen I, II u. III.

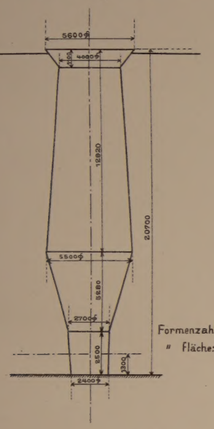


Fig. 1.

Profil Ofen II.
zu Versuch IV.

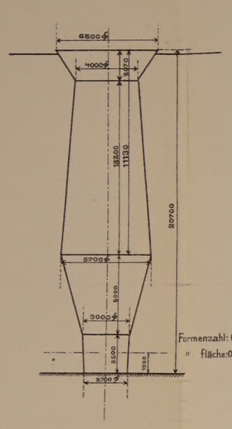


Fig. 2.

Versuch I.
Windtemperaturen.

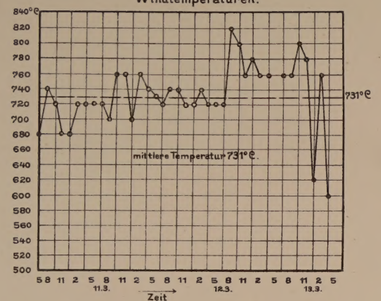


Fig. 3.

Versuch III.
Windtemperaturen.

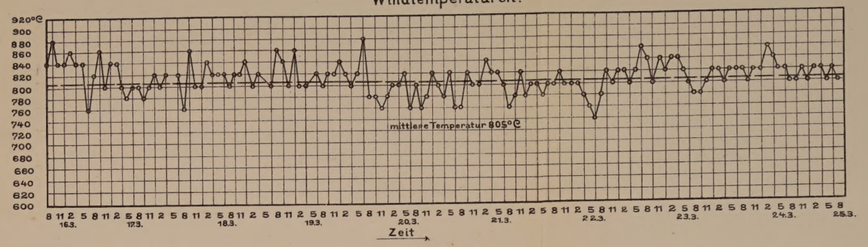


Fig. 7.

Versuch II.
Wärmeinhalt von Eisen und Schlacke.

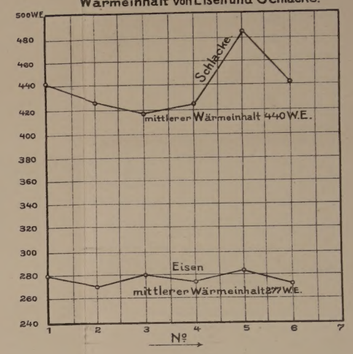


Fig. 11.

Versuch I.
Gichttemperaturen.

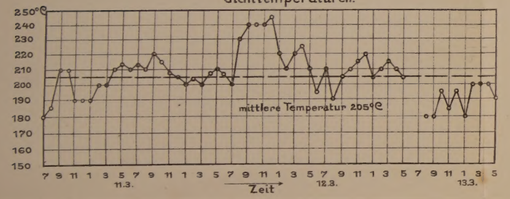


Fig. 4.

Versuch II.
Windtemperaturen.

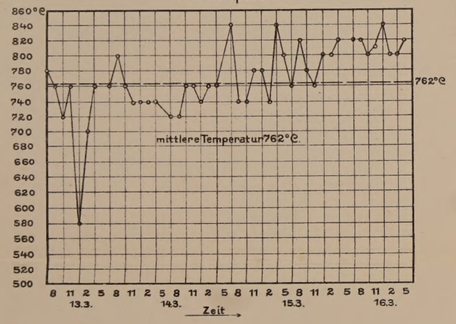
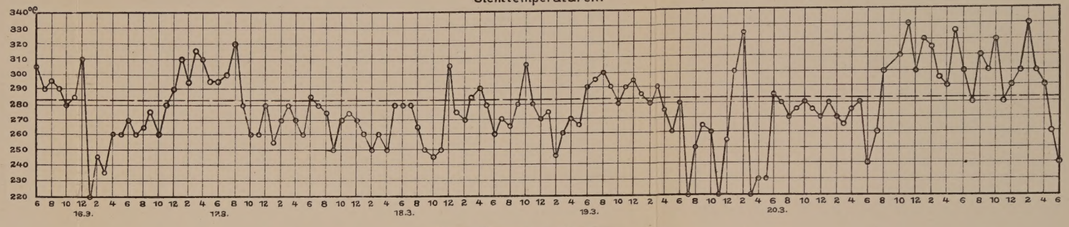


Fig. 5.

Versuch III
Gichttemperaturen.



mittlere Temperatur 283°C.

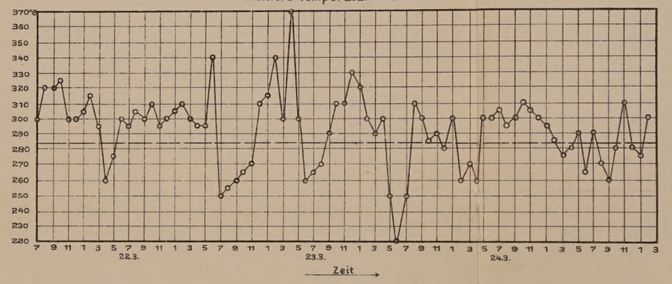


Fig. 8.

Versuch IV.
Wärmeinhalt von Eisen und Schlacke.

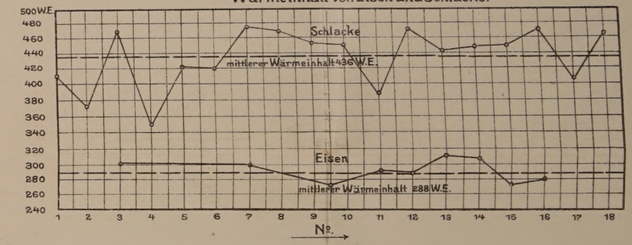


Fig. 12.

Versuch II.
Gichttemperaturen.

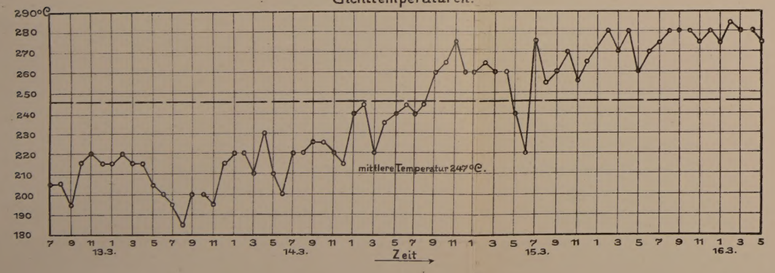


Fig. 6.

Versuch IV.
Windtemperaturen.

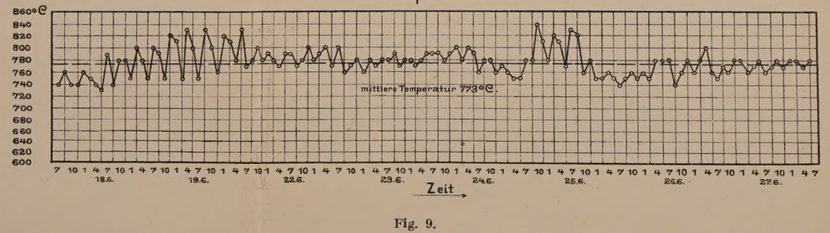


Fig. 9.

Versuch IV
Gichttemperaturen.

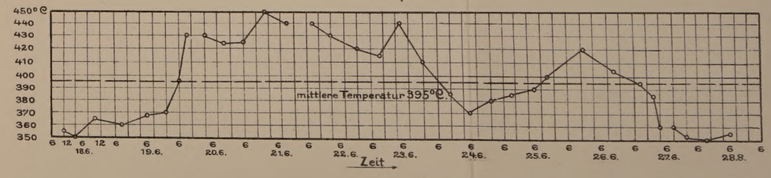


Fig. 10.